Ac 252. 1/4

BHS III 95

<36642202060012

<36642202060012

0
33 Bayer. Staatsbibliothek

Vollständige Theorie
der
Saug- und Hebepumpen,
und
Grundsätze zu ihrer vortheilhaftesten Anordnung,
vorzüglich
in Rücksicht auf Bergbau und Salinenwesen,
nebst einer
Beschreibung
der in den
englischen Bergwerken gebräuchlichen hohen Kunstsätze,
und einigen
Vorschlägen
zur
Verbesserung der deutschen Wasserkünste.

Von
D. Joseph Baader
Kurpfalzbairischem Maschinendirektor, der kurfürstlichen Akademie der Wissenschaften zu München und der königl. medic. Gesellschaft zu Edinburg Mitglied.

Mit sechs Kupfertafeln.

Bayreuth,
bey Johann Andreas Lübecks Erben.
1797.

BIBLIOTHEK
DER K.B.GENERAL
BERGW.U.SALINEN
ADMINISTR.

Non fingendum aut excogitandum, ſed videndum quid natura faciat aut ferat.

BACO DE VERUL.

Seiner Excellenz

dem

Hochgebohrnen Herrn

Joseph August

des heiligen römischen Reichs

Grafen von Törring und Gronsfeld

zu Jettenbach,

des hohen

Ritterordens des heil. Georg Kapitular und Schatzmeister,

kurpfalzbairischen Kämmerer,

wirklichen geheimen Rathe, Hof- und Forstkammer-

Präsidenten in München,

Oberst Münz- und Bergmeister in den obern Kurlanden,

dann

der kurfürstlichen General-Seidenzucht in Baiern und der Porzellanfabrike

Direktorn.

Bayerische Staatsbibliothek München

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Euer Excellenz!

Hochgebohrner Reichsgraf,

Hochgebietender Herr Hofkammer Präsident,

Mein gnädiger Herr!

Wenn in dem ruhigen Bewußtseyn der Erfüllung seiner Pflichten im angewiesenen Wirkungskreise der größte, oft der ganze, Lohn besteht, welcher dem redlichen und thätigen Staatsbürger vom Mittelstande für die größtmöglichste Anstrengung seiner Kräfte im Dienste seines Fürsten und seines Vaterlandes zu Theil wird, so ist das Schicksal desjenigen doppelt neidenswerth, welcher das Glück hat, unter einem einsichtsvollen, gerechten und weisen Chef zu dienen,

dessen

dessen Kennerblick das Verdienst in jedem seiner Subalternen zu unterscheiden, und dessen patriotische Billigkeit solches verhältnißmässig zu benützen und aufzumuntern weiß.

Wie sehr ich dieses Glück in seinem ganzen Umfange fühle und schätze, und wie eifrig ich mich desselben immer würdiger zu machen strebe, soll dieses öffentliche Merkmal der reinsten unbegränzten Ehrfurcht gegen Euer Excellenz bezeugen, mit welcher ich Hochdenenselben gegenwärtiges,

über

über einen für unser Vaterland besonders wichtigen Gegenstand geschriebenes, Werk zu überreichen mich erkühne, und womit ich Euer Excellenz zugleich von der Art, wie ich bisher einen Theil der von meinen Berufsgeschäften übrig gebliebenen Zeit angewendet habe, Rechenschaft zu geben wünschte.

Sollte diese Arbeit das Glück haben, Euer Excellenz hohen Beyfall zu erhalten, und das gnädige Zutrauen, dessen Sie bisher meine geringen Kenntnisse und Kräfte in einem

so

so wichtigen Fache gewürdigt haben, zu befestigen und zu erweitern, so ist der höchste Gipfel meiner Wünsche erreicht.

Ich habe die Ehre mich in aller Unterthänigkeit zu nennen

Hochgebohrner Reichsgraf!

Hochgebietender Herr Hofkammer Präsident,

Euer Excellenz

München den ersten Sept.
1797.

gehorsamster Diener
Joseph Baader.

Vorrede.

Als ich vor zehn Jahren anfieng mich mit dem Maschinenwesen, und zwar vorzüglich mit hydraulischen Anlagen, praktisch zu beschäftigen, fühlte ich mit jedem Schritte die Unentbehrlichkeit einer brauchbaren, sichern, vollständigen Theorie; und da ich durch Erfahrung immer mehr überzeugt wurde, daß zur richtigen Beurtheilung, und vortheilhaftesten Anordnung grosser Maschinen die gewöhnlichen Schulkenntnisse der sogenannten angewandten Mathematik keineswegs hinreichen, so gab ich mir Mühe, alle die vorzüglichsten und berühmtesten Werke älterer und neuerer Hydrodynamiker durchzustudiren, in welchen ich für jeden in der Ausübung vorkommenden Fall eine sichere Leitung, für jedes verwickelte Problem eine befriedigende Auflösung zu finden hofte. Allein wie wenig entsprach der Erfolg meiner Erwartung, als ich einige der bekanntesten, allgemein gepriesenen, hundertmal nachgeschriebenen und nie geprüften Theorien mit den Resultaten verglich, die ich aus meinen häufigen im Grossen angestellten Erfahrungen und Beobachtungen zog, zu welchen mein siebenjähriger Aufenthalt in Großbrittanien, und mein dortiges Gewerbe als praktischer Mechaniker (Engineer) mir so vorzügliche Gelegenheit darbot! — Es würde mich zu weit von meinem gegenwärtigen Zwecke entfernen, wenn ich hier nur der Hälfte derjenigen Fälle erwähnen wollte, in welchen ich die gewöhnlichen Theorien in offenbarem Widerspruche mit der Erfahrung, folglich mit der Wahrheit, gefunden habe; und ich begnüge mich daher (vorzüglich um dem Verdachte einer auf Nichts gegründeten Behauptung von Seite derjenigen meiner Leser zu entgehen, denen das Iurare in verba magistri, und das Ansehen grosser Männer mehr als eigenes Urtheil und Thatsachen gilt) im Vorbeygehen hier nur auf drey der auffallendsten Beyspiele hinzuweisen: Herrn Belidor's Theorie der Getreidemühlen, welche seit einem

halben Jahrhundert allgemein angenommen und unzähligemal nachgeschrieben worden ist — Herrn Hofrath Karsten's Theorie der Windflügel — und die Bernoullische, von den H. H. Euler, Karsten und Bossüt angenommene, und ganz neuerlich von Herrn Rath und Professor Langsdorf mit vielem Scharfsinn ausgearbeitete Lehre von der Rückwirkung des Wassers und ihrem Gebrauch bey Maschinen.

Für die gänzliche Falschheit und Unbrauchbarkeit der erstern bürgen die in England allgemein bekannten Erfahrungen, daß der eigentliche Widerstand, so wie der Effekt, einer Getreidmühle ganz allein von der Oberfläche und Umlaufsgeschwindigkeit des Läufers, aber nicht im geringsten von dem Gewichte desselben abhängt, da ein alter abgenüzter Läufer, der nur noch sechs Zoll Höhe hat, eben so gut mahlt, und (den Unterschied der Reibung in der Pfanne des Mühleisens abgerechnet) um Nichts leichter bewegt wird, als ein neuer von demselben Durchmesser und einer Höhe von drey Fuß — daß es auf die grössere oder geringere Dicke des sogenannten Steges, welcher das Mühleisen trägt, und dessen vorgebliche Elastizität (worüber Herr Belidor eine besondere Formel angegeben hat) ganz und gar nicht ankömmt, da der stärkste unbeugsamste Balken hiezu die besten Dienste leistet — daß die von demselben Schriftsteller angegebene, aus einer ganz falschen Theorie hergeleitete, und seither ohne Prüfung blindlings auf sein Wort angenommene allgemeine Formel zur Bestimmung des Widerstandes der Reibung zwischen Zahn und Getriebe vollkommen falsch ist, da solcher, bey demselben absoluten Druck, allemal desto grösser befunden wird, je kleiner der Durchmesser eines Rades oder Getriebes, und je grösser die Schrift, d. i. je geringer die Anzahl der Kämme oder Triebstöcke ist, so daß er statt $\frac{1}{18}$ des Druckes (wie Herr Belidor allgemein angiebt) in einigen Fällen kaum $\frac{1}{30}$, in andern wieder mehr als $\frac{1}{6}$ werden kann; da endlich auch die Reibung zwischen einem Kammrad und Getriebe, bey gleichem Druck und gleicher Grösse, weit beträchtlicher ist, als zwischen einem Stirnrad und Getriebe.

Ueber die Unbrauchbarkeit der bisherigen Windmühlentheorien stimmen alle Erfahrungen, und selbst die neuesten theoretischen Schriftsteller überein.

Daß aber die allgemein von den größten Männern unsers Jahrhunderts angenommene Theorie der Rückwirkung des ausströmenden Wassers unrichtig ist, daß die unter dem Namen des Segner'schen Wasserrades bekannte Reaktionsmaschine (deren Wirkung nach den Berechnungen der H. H. Euler, Karsten, Bossüt und Langsdorf alle übrigen hydrodynamischen Maschinen übertreffen sollte) von keinem Nutzen in der Anwendung ist, und eigentlich nur zu den physischen und mechanischen Spielwerken gehört, indem ein gutes oberschlächtiges Rad, bey gleicher Wassermenge und Gefälle mehr als sechsmal so viel leistet; und daß besonders durch Herrn Eulers vorgebliche Verbesserung dieser Maschine ihre Wirkung noch um die Hälfte vermindert wird, darüber mache ich mich anheischig bey einer andern Gelegenheit den Beweiß zu führen.

Entdeckungen dieser Art sind freylich nicht dazu gemacht, das Zutrauen des Praktikers und seinen Glauben an die Theorie zu befestigen, und es ist vielmehr, bey so auffallenden Widersprüchen, kein Wunder, wenn der Mann vom Leder, der Baumeister und der Künstler sich immer weiter von allem Calcul entfernt, je näher er die Lücken und Mängel desselben kennen lernt, und daß er zulezt (besonders bey einer unglücklichen Bekanntschaft mit Halbgelehrten, die sich Theoretiker nennen, sobald sie nur eine Formel zusammen schmieren können) im gerechten Unwillen über seine verlorne Zeit und seine getäuschten Erwartungen alle Theorie überhaupt nicht nur für unnütze und entbehrliche, sondern sogar für gefährliche und irreleitende Spekulation hält. Kein Wunder, wenn der gemeine Handwerker von einer Wissenschaft, die er nur aus dergleichen unglücklichen Anwendungen kennt, so erniedrigende Begriffe hat, daß er das Wort: Theoretiker ordentlich als Schimpfnamen gebraucht, womit er, ohne Unterschied, jeden mechanischen Quacksalber, jeden luftigen Projektanten,

tanten, jeden unwissenden Perpetuomobilisten belegt, und bey jeder Gelegenheit den alten Machtspruch zitirt: das geht wohl in der Theorie, aber nicht in der Praxis!—

Auf mich brachten indessen obige Erfahrungen gerade die entgegengesezte Wirkung herfür.— Um einiger einzelnen irrigen Sätze willen die ganze Wissenschaft zu verwerfen, schien mir eben so unbillig und ungereimt, als ob man aus Furcht für Trugschlüssen überhaupt auf alles Denken Verzicht thun wollte. Weit entfernt die Irrthümer einiger Mathematiker der Mathematik selbst zuzuschreiben, deren wohlthätiger untrüglicher Beystand mir aus unzählichen andern Fällen bekannt war, und vollkommen überzeugt, daß alles, was praktisch wahr ist, auch theoretisch richtig seyn müsse, suchte ich vielmehr immer tiefer in die Kunstgriffe der Analytik einzudringen, den Denk- oder Rechnungsfehlern in solchen Theorien, die ich a posteriori für falsch erkannte, wo möglich, bis zu ihrer Quelle nachzuspüren, und dann, mit Vermeidung aller unsichern Hypothesen und Aufopferung aller unnüzen Subtilitäten, einen andern Weg einzuschlagen, der mich zu passendern, mit meinen eigenen und anderer Praktiker Erfahrungen genauer übereinstimmenden Resultaten führen möchte: und ich war nicht selten so glücklich, den mir vorgesezten Zweck zu meiner gänzlichen Zufriedenheit zu erreichen.

So entstanden nach und nach verschiedene mathematische Aufsätze, die ursprünglich blos zu meinem eigenen Gebrauche bestimmt waren, um mir nämlich bey den Anlagen, die ich zu dirigiren hatte, den Mangel besserer gedruckter Werke zu ersetzen, und deren Brauchbarkeit ich in der Folge durch eigene Erfahrungen zu prüfen und zu bestätigen häufige Gelegenheit fand. Als ein Beyspiel dieser Art von Arbeiten lege ich hiemit meinen Landsleuten gegenwärtige vollständige Theorie der Saug- und Hebepumpen nebst einer genauen Beschreibung der in England üblichen hohen Kunstsätze nach den neuesten bis jezt in Deutschland nicht bekannten Verbesserungen vor; und von dem Beyfalle vollgiltiger und unbefan-

gener

gener Richter (nicht von anonymen Schülerversuchen im Rezensiren) wird es abhangen, ob diesem ersten Versuche noch mehrere ähnliche über die wichtigsten Zweige des Maschinenwesens, z. B. über Druckwerke und Wassersäulenmaschinen, über Wasserräder, über Blasemaschinen, über Dampfmaschinen u. d. gl. folgen sollen oder nicht.

Vielleicht dürften einigen meiner Leser die sieben ersten Kapitel dieses Werkes für den Zweck desselben zu ausführlich, und mehr für ein allgemeines Lehrbuch der Hydraulik als für eine Theorie der Pumpen zu passen scheinen. Ich bitte aber zu bemerken, daß eben diese sieben Kapitel alle die Lehren und Sätze enthalten, worauf meine Theorie gebaut ist, und daß sie also nothwendigerweise dieser voraus geschickt werden mußten, weil ich diese Lehren in allen mir bekannten Lehrbüchern der Hydraulik theils gar nicht, theils nicht in der Ordnung und dem Zusammenhange vorgetragen fand, die mir zu meinem Zwecke die schicklichsten schienen. Freylich führten mich diese Untersuchungen etwas weit, bis zur ersten einfachsten Aufgabe in der Hydraulik: dem Ausfluß des Wassers aus prismatischen oder zylindrischen Gefässen, zurück; Dieß war aber auch nothwendig, da bisher gerade hier die Quelle der meisten Fehlschlüsse, und der größten Unbestimmtheit in der Anwendung hydraulischer Grundsätze lag, und ich schmeichle mir, durch Auffindung einer auf alle möglichen Verhältnisse der Weite der Ausflußöfnung zur Weite des Gefäßes vollkommen passenden allgemeinen hydraulischen Grundformel, und die glückliche im ganzen Werk durchgeführte Anwendung derselben eine grosse Lücke in dieser Wissenschaft ausgefüllt, und ein Problem gelöset zu haben, dessen Auflösung selbst dem verdienst- und einsichtsvollsten der neuern hydrodynamischen Schriftsteller, Herrn Rath Langsdorf, unmöglich geschienen hat.

Man hat nämlich bis jezt allgemein angenommen, daß die Geschwindigkeit des durch die Bodenöfnung eines Gefäßes ausströmenden Wassers der ganzen Druckhöhe über der Oefnung zugehöre, und von

diesem

diesem Satz (der doch im strengsten Sinne nur für Gefäße von unendlicher Weite ganz wahr ist, und nur bey Oefnungen, welche gegen die Weite der Gefäße sehr klein sind, ohne merklichen Irrthum gelten kann) ohne alle Rücksicht auf das verschiedene Verhältniß der Weite der Oefnung zur Weite des Gefäßes, auch in solchen Fällen Gebrauch gemacht, wo das Verhältniß dieser beyden Grössen keineswegs als unbedeutend ausser Acht gelassen werden kann; und man sezte sich lieber über die fühlbarsten Unrichtigkeiten, welche bey dieser Methode unvermeidlich waren, hinweg, und tröstete sich mit der Unmöglichkeit einer allgemein brauchbaren Auflösung jener Aufgabe, als daß man durch Anwendung der einzigen von Herrn Bernoulli angegebenen Grundformel, welche auf zu offenbare Widersprüche und Ungereimtheiten führte,*) sich noch mehr von der Wahrheit entfernte.

Herr Langsdorf giebt sich zwar in seinem fürtreflichen Lehrbuche der Hydraulik (Seite 18 bis 20) viele Mühe, den wahren Sinn jener Bernoullischen Formel zu erklären, und solche gegen die auffallendsten Einwürfe zu rechtfertigen: allein ich muß gestehen, daß seine Gründe für mich weder überzeugend noch befriedigend sind. Nach meinen Begriffen muß jede mechanische oder hydrodynamische Grundformel allgemeine Darstellung eines physischen Gesetzes seyn, allen möglichen Bedingungen der Aufgabe vollkommen Genüge thun, und die Auflösung derselben schon in sich begreifen, ohne daß man in einzelnen Fällen genöthigt sey, zu einer Reservatio mentalis, zu einer unnatürlichen Erklärung, zu erdichteten, in der Aufgabe nicht begriffenen, und damit nicht vereinbaren, Umständen, zu unstatthaften oder wohl gar unmöglichen Voraussetzungen seine Zuflucht zu nehmen, um brauchbare oder wenigstens nicht ungereimte Resultate zu erhalten.

---

*) Siehe die Anmerkung zum §. 11. Seite 9 — 10.

erhalten. Nach Herrn Langsdorf sollte nämlich die Formel $\frac{v^2}{4g} = h. \frac{A^2}{A^2 - a^2}$ *) die stillschweigende Voraussetzung in sich begreifen, daß der Zufluß in das Gefäß aus einem andern unmittelbar über dem Wasserspiegel A befindlichen unendlich weiten Gefäße geschehe, in welchem die unveränderliche Wasserhöhe $x = \frac{c^2}{4g}$ wäre, wenn c die Geschwindigkeit des sinkenden Wasserspiegels A anzeigt, da dann durch diese Vergrösserung der drückenden Wassersäule die gesammte Wasserhöhe statt h nunmehr $h + x = h + \frac{c^2}{4g}$, folglich $\frac{v^2}{4g} = h + \frac{c^2}{4g}$ werden soll, woraus sich, weil $c = v. \frac{a}{A}$ ist, unmittelbar $\frac{v^2}{4g} = h. \frac{A^2}{A^2 - a^2}$ ergäbe. Und diese Voraussetzung scheint ihm zum Begriffe der beständigen Vollerhaltung aus dem besondern Grunde nothwendig zu seyn, "weil die Geschwindig-"keit des sinkenden Wasserspiegels, wenn blos die Schwer-"kraft in Betrachtung kömmt, nicht von den unter ihm lie-"genden Schichten bewirkt werden könne, sondern dazu eine "neue Wassersäule über dem Wasserspiegel erfordert werde, "deren Höhe $= h. \frac{a^2}{A^2}$ seyn müßte." (§. 19. a. a. O. da $\frac{w^2}{W^2}$ statt $\frac{a^2}{A^2}$ steht.)

Mir scheint indessen eine solche Voraussetzung eben so unnöthig zu seyn, als sie falsch und zur Bestimmung der eigentlich gesuchten Verhältnisse unzureichend ist. Denn fürs Erste sehe ich nicht ein, warum es sogar physisch unmöglich seyn sollte (wie H. L. im 22sten §. a. O. behauptet) ein Gefäß, aus welchem das Wasser durch eine Bodenöfnung abfließt, beständig auf eine unveränderliche Höhe angefüllt zu erhalten, ohne die der Ausflußgeschwindigkeit zugehörige Höhe durch einen neuen von oben auf den Wasserspiegel anzubringenden Druck zu vergrös-

sern,

*) Hiebey ist v die Ausflußgeschwindigkeit; h die (beständige) Wasserhöhe im Gefäße; A, die Weite desselben, a die Weite der Oefnung, und g die Beschleunigung der Schwere.

sern, da man doch sehr leicht durch einen sachten gleichförmigen Zufluß von der Seite ein solches Gefäß beständig bis zum Ueberlaufen voll erhalten kann. Wird aber das Wasser beständig auf derselben Höhe h erhalten, so sinkt ja der Wasserspiegel nicht, seine Geschwindigkeit ist = 0: folglich kann auch keine Kraft nöthig seyn, diese Geschwindigkeit herfür zu bringen. 2°) Gesezt aber auch, daß der Wasserspiegel mit der Geschwindigkeit c niedersänke (wie bey einem sich ausleerenden Gefäße geschieht) und es würde hiezu eine besondere Kraft erfordert, und diese Kraft wäre wirklich vorhanden, und dem Druck einer Wassersäule von der Höhe $x = \frac{c^2}{4g}$ gleich, so würde ja offenbar diese Kraft schon ganz auf das Sinken des Wasserspiegels verwendet, und könnte daher als Zusatz zur eigentlichen Druckhöhe, welche den Ausfluß durch die Bodenöfnung bewirken muß, nicht noch einmal in Rechnung kommen, weil dieselbe Kraft nicht zugleich eine doppelte Wirkung herfürbringen kann. Die der Ausflußgeschwindigkeit zuständige Höhe bliebe daher immer nur $\frac{v^2}{4g} = h$. Dieß folgt auch schon unmittelbar aus dem Vortrage des Herrn Langsdorf selbst: denn wenn die der Geschwindigkeit des Wasserspiegels zugehörige Höhe $= h. \frac{a^2}{A^2}$ ist, (a. O. §. 19.) so muß, da eben diese Höhe $x = \frac{c^2}{4g}$ ist, auch $\frac{c^2}{4g} = h. \frac{a^2}{A^2}$ seyn; es ist aber $\frac{c^2}{4g} = \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{a^2}{A^2}$, also $\frac{v^2}{4g} = h$. Es ist aber schon an sich falsch, daß der Wasserspiegel ohne einen besondern über ihm angebrachten Druck nicht sinken könne, da dieses Sinken der obersten Wassertheilchen, welche den Spiegel bilden, durch den Zusammenhang mit den unmittelbar darunter befindlichen, durch ihre Schwere sinkenden, Schichten ganz natürlich bewirkt wird. Wäre dieser Zusammenhang ohne eine fremde Kraft nicht hinreichend, das Sinken der Oberfläche zu bewirken, so müßte man bey einem sich ohne Zufluß ausleerenden Gefäße den Druck der Atmosphäre zu Hilfe nehmen, um eine so einfache Erscheinung zu erklären: dann könnte aber im luftleeren Raume ein Gefäß sich gar nicht ausleeren, oder die Oberfläche müßte sich von der übrigen Wassermasse trennen! — 3°) Wenn die beständige Wasserhöhe über der Oefnung h, die (durchaus gleiche) Weite des Gefäßes A, und

die

die Weite der Oefnung im Boden a gegeben sind, und man sucht einen Ausdruck für die Geschwindigkeit v des ausströmenden Wassers durch eine Gleichung zwischen den gegebenen Grössen, so ist die Annahme eines über meinem Wasserspiegel gesezten unendlich weiten Behälters gegen die erste Bedingung meiner Aufgabe: denn wenn ich einmal unter h den lothrechten Abstand des Wasserspiegels von der Bodenöfnung verstehe, so kann ich mir dabey nicht zugleich einen grössern Abstand $h + x$ denken, oder über dem vorhandenen noch einen höhern, also zwey Wasserspiegel übereinander annehmen; dieß hieße so viel als: h wäre nicht $= h$, sondern $h = h + x$, und der Wasserspiegel wäre nicht der Wasserspiegel! — Ist nun dieser unendlich weite Behälter eine blosse Erdichtung, so kann ja die bloß in meiner Einbildung existirende Wassersäule x den wirklichen Druck auf die Bodenöfnung nicht vermehren, folglich auch $\frac{v^2}{4g}$ nicht $> h$ werden. Ist er hingegen wirklich vorhanden, oder kann der nöthige Zufluß nicht anders als durch Vergrösserung der gegebenen Wasserhöhe h bewirkt werden, so ist nunmehr die wahre Wasserhöhe nicht mehr h, sondern $h + x$, welche ich H nennen will, und man erhält $\frac{v^2}{4g} = H$, eine Formel, worinn wieder die Grössen a und A nicht vorkommen, und wodurch also die bestimmte Aufgabe nicht gelöset wird. — 4°) So wie die allgemeine Formel $v = 2\sqrt{gh}$ (welche von Herrn Langsdorf in der Folge, wie von allen andern Schriftstellern, mit gänzlicher Vernachlässigung des Verhältnisses a: A, durchgehends angewendet wird) auch bey einem sich ohne Zufluß ausleerenden Gefäße (da h veränderlich ist, und mit jedem Augenblicke abnimmt) bey einer gegen die Weite des Gefäßes sehr kleinen Oefnung die Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers in jedem Augenblicke ausdrückt, so müßte, wenn jene Formel richtig wäre, bey einem bedeutenden Werthe von $\frac{a}{A}$, jene Geschwindigkeit in jedem Augenblicke der Höhe $h \cdot \frac{A^2}{A^2 - a^2}$ zugehören, folglich immer grösser als $2\sqrt{gh}$ seyn, welches der Erfahrung widerspricht. Oder sollte man vielleicht bey einem sich ausleerenden Gefäße wieder einen darüber stehenden unendlich weiten Behälter annehmen? dann müste, weil die Geschwindigkeit des sinkenden Wasser-

spiegels mit jedem Augenblick abnimmt, auch die Höhe x in dem darüber gesezten Behälter in gleichem Maaße abnehmen, d. i. der unendlich grosse Wasserspiegel müste sinken! ein Widerspruch, dem man nur durch die Voraussetzung, daß der ganze unendliche Behälter zugleich mit sinkt, das heißt: durch eine noch grössere Ungereimtheit, ausweichen kann. — Für den lezten Fall, nämlich für ein ohne Zufluß sich ausleerendes Gefäß, bey welchem das Verhältniß a : A nicht unbedeutend ist, hätte man demnach gar keine Formel; und obige sogenannte allgemeine Grundformel wäre bloß auf ein gegen die Grösse der Oefnung unendlich weites, beständig voll erhaltenes, Gefäß, und zwar unter der Voraussetzung eines andern darüber gesezten unendlich weiten Zuflußbehälters, also auf einen einzigen Fall, und dieß noch mit eigentlich unmöglichen Bedingungen, eingeschränkt! — Dieß kömmt mir beynahe so vor, als ob der wißbegierige Anfänger in der Lehre von den Gesetzen der Bewegung flüssiger Körper gleich bey der ersten, wichtigsten, einfachsten Frage ohngefähr mit diesen Worten abgefertigt würde: "Du mußt schlechterdings etwas an"nehmen, was in deinem Falle nicht existirt, und an sich un"möglich ist, damit eine von den größten Männern unsers "Jahrhunderts mit vieler Mühe und Scharfsinn durch die "feinsten Kunstgriffe der höhern Analysis herausgebrachte "Formel nicht zu Schanden werde. Wo du aber das nicht "kannst oder willst, da haben wir keine Auflösung für deine "Aufgabe, keine Antwort auf deine Frage." —

In der That scheint der verdienstvolle Herr Verfasser des erwähnten Lehrbuches diese Verlegenheit selbst zu fühlen, da er (Seite 24) gesteht: "der einzige Gebrauch der Formel $H = \frac{W^2}{W^2 - \omega^2} . h$ be"steht also darinn, daß er die möglich geringste Höhe $\frac{\omega^2}{W^2 - \omega^2} . h$ "angiebt, von welcher das Zuflußwasser hergeleitet werden "kann, wenn solches das Gefäß beständig auf die Höhe h an"gefüllt

"gefüllt erhalten soll. Man ersieht hieraus, daß prismati-
"sche Gefäße ohne Boden, d. i. für welche $\omega = W$ ist, eine un-
"endliche Zuflußhöhe erfordern, wie auch schon für sich klar
"ist, weil darinn die Geschwindigkeit auf der Oberfläche der
"in der Bodenöfnung, wenn das Wasser gleiche Höhe h be-
"halten sollte, gleich werden müßte, welches aber nie gesche-
"hen kann. Für alle andere Anwendungen ist sie eine völ-
"lig falsche Grundformel."

Ich bin indessen auch hier nicht ganz von Herrn Langsdorf's Meinung, und glaube, daß selbst für diesen Fall, nämlich die Auslee-rung eines Gefäßes ohne Boden, die Anwendung der Bernoullischen For-mel auf die größte Ungereimtheit führt.

Das Wasser drückt auf den Boden eines Gefäßes, in welchem es ruhig steht, mit seiner ganzen Höhe, und würde solchem, wenn er plötz-lich ganz zu widerstehen aufhörte, und das Wasser selbst nicht träge wäre, in dem ersten Augenblicke die dieser Höhe zukommende Geschwin-digkeit mittheilen. Mit eben dieser Geschwindigkeit fährt dasselbe durch eine oder mehrere kleine Oefnungen (wenn sonst die Wirkung der drü-ckenden Wassersäule durch nichts vermindert wird) zugleich heraus, ihre Anzahl und Grösse mag auch noch so beträchtlich seyn, selbst wenn der Boden wie ein Sieb durchlöchert wäre. Wenn man sich nun vorstellt, daß alle diese Oefnungen plötzlich in eine einzige von der ganzen Weite des Gefäßes zusammenflössen, warum sollte das Aggregat aller einzelnen Fäden, welche den herausschiessenden dicken Wasserstrahl bilden, in dem ersten Augenblicke, d. i. so lange die ganze Wassersäule h noch existirt, eine grössere Geschwindigkeit erhalten, als die, welche jedem einzelnen Faden zukömmt? — und wie in aller Welt läßt sich da die unmittelbar aus obiger Formel sich ergebende unendliche Geschwindigkeit als Wir-kung einer endlichen Ursache (des Wasserdrucks h) begreifen oder be-haupten? — Ich habe alle Ehrfurcht für die Verdienste des unsterblichen

Mannes,

Mannes, welcher diese Formel zuerst angegeben, und aller der berühmten Schriftsteller, die solche nach ihm angenommen haben; allein wenn auch hundert Bernoullis, Euler und d'Alemberts mit ihren Namen für die Wahrheit derselben bürgten, wenn sie selbst La Grange mit allem Aufwande seines Tiefsinnes und seiner analytischen Stärke bewiesen hätte, so könnte ich mich doch unmöglich entschliessen, einen Satz zu unterschreiben, der so auffallend ungereimt und falsch, und wahrhaftig ganz dazu gemacht ist, jenen bekannten Spott über die höhere Mathematik zu rechtfertigen, daß der Verstand da aufhören müsse, wo die Formel anfängt.

Wenn nun die Geschwindigkeit im untersten Querschnitte, oder der Oefnung des mit Wasser angefüllten Gefässes ohne Boden nicht unendlich groß, sondern der Höhe desselben zuständig ist, so kann auch von oben keine unendliche Zuflußgeschwindigkeit erfordert werden, um dieses Gefäß beständig voll zu erhalten. Wäre dieß, so müste auch bey jedem am Boden eines Gefässes lothrecht angebrachten zylindrischen oder prismatischen Ansatzrohr das Wasser im Gefässe unendlich hoch stehen, um das Rohr beständig voll und den Ausfluß ununterbrochen zu erhalten. Denn ein prismatisches oder zylindrisches Gefäß ohne Boden (es mag nun so weit seyn, als man will), welches seinen Zufluß aus einem darüber stehenden unendlich weiten Gefäße erhält, ist doch nichts anders als ein Ansatzrohr zu diesem Gefäße? —

Eben so wenig kann ich Herrn Langsdorf beystimmen, wenn er (a. O. Seite 24) sagt: "daß es ohne allen Nutzen seyn würde, "eine für alle Werthe von $\frac{\omega}{W}$ ganz genau passende Formel "für die Höhe zu haben, welche dem gleichförmig gewordenen "Ausfluß zugehört, weil in der Ausübung überall von Fällen die Rede ist, wo entweder $\frac{\omega}{W}$ ein kleiner (unbedeutender) "Bruch ist, da dann ohne merklichen Fehler die der Geschwindigkeit des Wassers zugehörige Höhe gleich anfangs $= h$

"gesezt

"gesezt werden darf, oder wo die Bewegung nur kurze Zeit "fortgesezt wird, während der sie nach einem andern bekann- "ten Gesetze beschleunigt wird." Vielmehr bin ich vollkommen überzeugt, daß eben der bisherige Mangel einer solchen allgemein passenden Grundformel für den Ausfluß aus Gefäßen von gegebenen Dimensionen die größte, gefährlichste Lücke in der Hydraulik, und das wichtigste Hinderniß gegen die Anwendung unsrer bisherigen Theorie auf unzählige Fälle war, da gerade in der Ausübung, besonders beym Maschinenwesen, lauter Fälle vorkommen, wo obiges Verhältniß a: A (oder ω: W) beträchtlich genug ist, und wo daher die Anwendung jener allgemein auf die entgegengesezte Voraussetzung eines gegen A ganz unbedeutenden Werthes von a gegründeten Formel $\frac{v^2}{4g} = h$ ganz und gar nicht zulängliche oder genaue Resultate geben kann.

Das lezte wird besonders bey der Berechnung des Widerstandes auffallend, welchen das durch eine Röhrenleitung, die an verschiedenen Stellen verengert ist (wo aber doch der verengte Querschnitt noch immer ein sehr beträchtliches Verhältniß zur ganzen Weite des Rohres hat) sich bewegende Wasser erfährt. Man versuche nur einmal in einem solchen Falle eine Anwendung von den im sechsten Kapitel des Langsdorf'schen Lehrbuches vorgetragenen Formeln zu machen, und man wird sich bald von der Wahrheit des hier Gesagten überzeugen.

Eben von dieser Art ist der hydraulische Widerstand, welchen die bewegende Kraft bey jeder Pumpe zu überwinden hat, und wo jene Voraussetzung um so weniger Statt finden kann, da es selbst zur vortheilhaften Einrichtung dieser Maschinen gehört, daß die Querschnitte der Saugröhren, Ventilöfnungen, Kolbenöfnungen, Steigröhren u. d. gl. das größtmögliche Verhältniß zur Weite der Stiefel- oder Kolbenröhren erhalten.

Man

Man wird bemerken, daß ich im neunten Kapitel die Lehre von der Beschleunigung der Kräfte auf die Bestimmung des mechanischen Widerstandes, oder desjenigen, welchen die Trägheit aller mit dem Kolben bey jedem Hube von neuem in Bewegung gesezten schweren Massen verursacht, ganz anders als Herr Rath Langsdorf angewendet habe, dessen Theorie der Pumpen überhaupt von der meinigen wesentlich verschieden ist. Allein ich hoffe, daß selbst dieser würdige Gelehrte (dessen Wahrheitsliebe schon durch mehrere ähnliche Geständnisse, welche, ohne seinen litterarischen Ruhm im geringsten zu verdunkeln, seinen Karakter als Mann verehrungswürdig machen, sattsam bekannt ist) mir zugestehen wird, daß der von mir hier eingeschlagene Weg der rechte ist. — Ich betrachte nämlich den Kolben einer jeden Pumpe (wenn die auf ihn wirkende Kraft zu den beständigen gehört) als einen Körper, der sich im widerstehenden Medium bewegt, und suche aus den bekannten mechanischen Gesetzen dieser Bewegung alle in Rücksicht der erlangten Geschwindigkeit, des zurückgelegten Raumes, der Zeit des Hubes oder Rückzuges, und des hierzu erforderlichen Uebergewichtes vorkommenden Aufgaben mit aller der Genauigkeit zu lösen, deren dieser Gegenstand fähig und würdig ist. Auch habe ich auf diesem Wege schon einen Vorgänger, dessen Ansehen (wenn es doch auf persönliche Autorität in wissenschaftlichen Gegenständen ankommen sollte) wenigstens gegen jenes von Herrn Langsdorf aufgestellt werden kann — den scharfsinnigen Verfasser der nun allgemein bekannten und geschäzten Principes d'Hydraulique verifiès par un grand nombre d'Experiences faites par ordre dû Gouvernement etc. der sich um die Erweiterung der hydraulischen Wissenschaften unsterbliche Verdienste erworben, und welcher im achten Kapitel vierten Abschnitt seines ersten Bandes dieselbe Methode im allgemeinen angezeigt hat; worinn ihm aber bis jezt (vielleicht wegen seines etwas dunkeln, gedrängten Vortrages) noch keiner seiner Uebersetzer und Commentatoren nachgefolgt ist.

Die

Die Kupferstiche und Beschreibungen sind, wie ich mir schmeichle, so deutlich und genau, daß jeder geschickte Kunstmeister ohne Schwierigkeit darnach zu arbeiten im Stande seyn wird. Auch hoffe ich, daß meine Gründe für die Wiedereinführung der hohen Sätze, und die von mir vorgeschlagenen Verbesserungen derselben allen Praktikern einleuchten werden, die nicht unverbrüchliche blinde Anhänglichkeit an den alten hergebrachten Schlendrian geschworen haben, und wenigstens von dem Vorurtheile frey sind, daß alles, was bisher war, auch nothwendig so seyn müsse. — Mehrere Vorschläge und neue (größtentheils eigene) Erfindungen zur Verbesserung des Maschinenwesens beym Bergbau und Salinenwesen habe ich für ein anders durchaus praktisches Werk bestimmt, welches, wenn es anders möglich ist, mit nächster Ostermesse erscheinen soll, und worinn ich mich, was die Berechnungen betrift, allenthalben auf die in gegenwärtigem Bande vorgetragene Theorie beziehen werde.

Die etwas ausführliche Inhaltsanzeige stellt in gedrängter Kürze alle im Werke selbst enthaltene Sätze und Formeln (ohne Beweise) zur leichtern Uebersicht des Ganzen und zum bequemern Gebrauche derjenigen dar, welche dieselben in der Ausübung anwenden wollen, ohne sich bey jeder einzelnen Aufgabe die Mühe geben zu müssen, das ganze Buch zu durchblättern.

Daß dieses Werk überhaupt keine Compilation ist, und wenigstens alles leistet, was der Titel verspricht, daß es in Rücksicht der Pumpen eine Menge der wichtigsten Aufgaben, Grundsätze und Bemerkungen (sowohl theoretische als praktische) enthält, die man in keinem andern ältern oder neuern Schriftsteller findet, und worauf es doch vorzüglich in der Ausübung ankömmt, wird hoffentlich kein billiger sachkundiger Leser verkennen. Wenn mir dann nur von dieser Seite das Verdienst zuerkannt wird, etwas zur Erweiterung einer so nützlichen Wissenschaft und zur

Verbesserung des Maschinenwesens in meinem Vaterlande beygetragen zu haben, so halte ich mich für meine Mühe hinlänglich belohnt; und, obwohl ich auf alle Fälle zum Voraus erklären muß, daß ich weder Zeit noch Lust habe, mich in irgend eine gelehrte Fehde einzulassen, so versichere ich doch, daß ich bereit bin, jede freundschaftliche Anzeige eines meiner Aufmerksamkeit vielleicht entgangenen Fehlers mit derselben Unbefangenheit und Wahrheitsliebe aufzunehmen, welche ich von denjenigen mir schätzbaren noch lebenden Gelehrten erwarte, die einzelne ihrer Sätze in diesem Werke widerlegt oder berichtigt finden.

München den 1sten August 1797.

Joseph Baader.

Inhalt

Inhalt
und
Uebersicht des Werkes.

Erstes Kapitel.
Allgemeine Betrachtungen über die Bewegung des Wassers in prismatischen oder zylindrischen Gefäßen.

§. 1. Fig. 1. 1. Tafel. Wenn des zylindrischen oder prismatischen Gefäßes ABCD Querschnitt = A, die Höhe der über der beweglichen Scheibe mn stehenden Wassermasse kmnl = h ist, so leidet diese, im Stand der Ruhe, einen Druck

$$P = Ah,$$

und eben so groß muß daher die gegenwirkende Kraft seyn, wodurch die Scheibe unbeweglich erhalten wird.

§. 2. Wenn g die Beschleunigung der Schwere, und v die der Höhe h zugehörige Geschwindigkeit ist, so hat man

$$P = A.\frac{v^2}{4g},$$

$$\text{und} \quad v = 2\sqrt{\left(g.\frac{P}{A}\right)}.$$

§. 3—4. Wenn die Kraft, welche auf die Scheibe in der der Schwere entgegengesezten Richtung wirkt, $= p < Ah$ ist, so sinkt diese (im Beharrungsstand) mit einer Geschwindigkeit $c = 2\sqrt{\left(g\ (h - \frac{p}{A})\right)}$ und die niedersinkende Scheibe leidet von der mit ihr zugleich sinkenden Wassermasse Ah einen Druck

$$p = A\left(h - \frac{c^2}{4g}\right) < Ah$$

$$= A\left(\frac{v^2 - c^2}{4g}\right) < P.$$

§. 5—6. Iſt hingegen die auf die Scheibe wirkende Kraft $= \Pi > Ah$, ſo bewegt ſich dieſe mit der Waſſermaſſe Ah aufwärts mit einer Geſchwindigkeit, welche für den Beharrungsſtand $= c = 2\sqrt{[g(\frac{\Pi}{A} - h)]}$ iſt; und die aufwärts bewegte Scheibe leidet von der mit ihr zugleich gehobenen Waſſermaſſe einen Druck

$$\Pi = A\left(h + \frac{c^2}{4g}\right) > Ah$$

$$= A\left(\frac{v^2 + c^2}{4g}\right) > P.$$

Zweytes Kapitel.

Vom Ausfluß des Waſſers durch die Bodenöfnung eines prismatiſchen oder zylindriſchen, beſtändig voll erhaltenen, Gefäßes.

§. 7. Fig. 3. Wenn der ganz mit Waſſer angefüllte Zylinder $ABCD$ gegen die unbewegliche Scheibe mn mit der Geſchwindigkeit c niedergedrückt wird, ſo ſtrömt das Waſſer aus der Oefnung a mit der Geſchwindigkeit $v = c.\frac{A}{a}$. Die bewegende Kraft Q hat in dieſem Falle einen doppelten Widerſtand zu überwinden: 1) die Rückwirkung des unbeweglichen Deckels AD, deſſen Fläche $A - a$ iſt, 2) die Rückwirkung des durch die Oefnung a mit der Geſchwindigkeit v ausſtrömenden Waſſerſtrahls; und die Scheibe mn leidet währender Bewegung einen Druck

$$P = Ah + \frac{v^2}{4g}\left(A + \frac{a^2}{A} - \frac{a^3}{A^2}\right)$$

wenn h in jedem Augenblicke die Höhe der Waſſerſäule Am zwiſchen der Scheibe und dem Deckel des Zylinders anzeigt.

§. 8. Eben daſſelbe muß ſtatt finden, wenn der Zylinder unbeweglich befeſtigt, und die Scheibe mn in demſelben mit der Geſchwindigkeit c aufwärts gedrückt wird.

§. 9. Fig. 4. Wird der Zylinder umgekehrt, daß das Waſſer durch die Bodenöfnung a mit derſelben Geſchwindigkeit v in entgegengeſezter Richtung ausſtrömt, ſo muß die Kraft, durch welche die Scheibe mn niedergedrückt wird,

$$P = \frac{v^2}{4g}\left(A + \frac{a^2}{A} - \frac{a^3}{A^2}\right) - Ah$$

ſeyn.

§. 10.

§. 10. Fig. 5. Nimmt man jezt die Scheibe, und die Kraft P ganz weg, und überläßt die Wassermasse eBCe der Wirkung ihrer eigenen Schwere, so wird $P = 0$, folglich

$$Ah = \frac{v^2}{4g}\left(A + \frac{a^2}{A} - \frac{a^3}{A^2}\right)$$

$$\text{und } h = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right).$$

§. 11. Aus dieser allgemeinen hydraulischen Grundformel erhellet: 1) daß die Ausflußgeschwindigkeit des Wassers durch die Bodenöfnung eines Gefäßes von begränzter Weite kleiner als $2\sqrt{gh}$ seyn müsse; 2) daß der Unterschied desto beträchtlicher werde, je weiter die Oefnung im Verhältniß zur Weite des Gefäßes ist; 3) daß nur für ein Gefäß von unendlicher Weite, oder für eine Oefnung, welche der Weite des Gefäßes selbst gleich ist (ein Gefäß ohne Boden) $v = 2\sqrt{gh}$ werde, oder die Ausflußgeschwindigkeit der ganzen Höhe zugehöre.

Anmerkung. Diese meine Grundformel stimmt mit der Erfahrung sehr gut überein, und thut allen möglichen Fällen für jeden Werth von $\frac{a}{A}$ Genüge, da die von andern Schriftstellern angegebenen hydraulischen Grundformeln auf ganz ungereimte Resultate in der Anwendung führen. (s. die Vorrede.)

§. 12. Fig. 6. Wenn an der Bodenöfnung des Gefäßes ABCD noch ein gleichweites zylindrisches Rohr mnop von der Länge l lothrecht angesezt ist, so wird (mit Beyseitsetzung aller andern Hindernisse der Bewegung)

$$h + l = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right).$$

§. 13. Fig. 7. Wenn über dem Gefäße BCDE ein anders weiteres Gefäß MNOP befindlich ist, und beyde beständig voll Wasser erhalten werden, so ist die Ausflußgeschwindigkeit durch die Bodenöfnung a

$$v = \frac{2\sqrt{(g(h+l))}}{\sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^3}{W^3} + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^2 W}{A^3}\right)}}$$

Dabey

Dabey ist

h die Höhe des Wasserstandes im obern Gefäße.

l — Höhe des untern Gefäßes.

A — Weite des obern,

W — Weite des untern Gefäßes.

a — Weite der Bodenöfnung.

§. 14. Sezt man in der lezten Gleichung $a = W$, so kömmt man auf den Fall Fig. 6. §. 12. zurück, und man findet, wie dort,

$$v = \frac{2\sqrt{[g(h+l)]}}{\sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right)}},$$

Sezt man $W = A$, und $h + l = H$, so hat man ein einfaches Gefäß mit einer Bodenöfnung, und es kömmt obige Grundformel §. 10. zum Vorschein.

Drittes Kapitel.

Vom Ausfluß des Wassers, welches durch mehrere aufeinander folgende Oefnungen fließt.

§. 15. Fig. 8. Wenn in dem mit Wasser angefüllten und beständig voll erhaltenen Zylinder ABCD der bewegliche Boden op mit einer Geschwindigkeit $c = v \cdot \frac{\varphi}{W}$ niedersinkt, und v diejenige Geschwindigkeit ist, mit welcher das Wasser durch die Oefnung φ abfliessen würde, wenn der untere Raum mopn Wasserleer wäre, so wirkt die ober der Scheidewand mn befindliche Wassermasse ganz und gar nicht auf die untere, und der Boden op leidet im Niedergehen nur den Druck der untern Wassermasse mopn.

§. 16—17. Sinkt aber der Boden op, und mit ihm die Wassermasse $mopn = Wl$ mit einer Geschwindigkeit $c > v \cdot \frac{\varphi}{W}$, so muß, wenn kein vacuum unter der Scheidewand mn entstehen, und beyde Wassermassen nicht von einander getrennt werden sollen, die Geschwindigkeit, womit das Wasser durch φ strömt, $= m >$ v werden: und da hiezu der blosse Druck der Wassersäule $Am = h$ nicht mehr hinreicht, so muß der Druck der Atmosphäre von oben mitwirken; oder

was

was gleich viel ist, ein Theil der Wassersäule W l muß auf das Einsaugen oder Einziehen des Wassers durch die Oefnung φ von oben nach unten verwendet werden. Die Höhe dieses blos auf die Suction verwendeten Theils der Wassersäule m o muß

$$z = \frac{m^2}{4g}\left(1 + \frac{\varphi^2}{W^2} - \frac{\varphi^3}{W^3}\right) - h,$$

und die ganze Höhe der Wassersäule m o

$$l = z + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right)$$

seyn.

§. 18. Fig. 9. Denkt man sich den Zylinder ABCD unten ganz offen, und in eine unbegränzte Wasserfläche s s eingetaucht, so wird die Durchflußgeschwindigkeit durch die Oefnung φ, oder

$$m = \frac{2\sqrt{[g(h+l)]}}{\sqrt{\left(1 + 2\frac{\varphi^2}{W^2} - 2\frac{\varphi^3}{W^3}\right)}}$$

seyn, das Wasser durch BC aber mit der Geschwindigkeit

$$C = m \cdot \frac{\varphi}{W} = \frac{2\sqrt{[g(h+l)]}}{\sqrt{\left(2 + \frac{W^2}{\varphi^2} - 2\frac{\varphi}{W}\right)}}$$

abfliessen.

§. 19—20. Fig. 10. Ist die Weite des obern Gefäßes ABCD $= A >$ W, so ergiebt sich

$$m = \frac{2\sqrt{[g(h+l)]}}{\sqrt{\left(1 + \frac{\varphi^2}{A^2} - \frac{\varphi^3}{A^3} + \frac{\varphi^2}{W^2} - \frac{\varphi^3}{W^3}\right)}},$$

$$\text{und } c = \frac{2\sqrt{[g(h+l)]}}{\sqrt{\left(1 + \frac{W^2}{A^2} - \frac{W^2\varphi}{A^3} + \frac{W^2}{\varphi^2} - \frac{\varphi}{W}\right)}}.$$

§. 21.

§. 21. Ist das untere Gefäß mit einem Boden no verschlossen, in welchem eine Oef-
Fig. 11. nung a angebracht ist, so wird die Ausströmungsgeschwindigkeit aus dieser Oefnung

$$v = \frac{2\sqrt{[g\,(h+l)]}}{\sqrt{\left(1+\frac{a^2}{\varphi^2}+\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^2\varphi}{A^3}+\frac{a^2}{W^2}-\frac{a^2\varphi}{W^3}-\frac{a^3}{W^3}\right)}}.$$

§. 22. Für $\varphi = a$ wird

$$v = \frac{2\sqrt{[g\,(h+l)]}}{\sqrt{\left(2+\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^3}{A^3}+\frac{a^2}{W^2}-2\frac{a^3}{W^3}\right)}}.$$

Sezt man $\varphi = a = W$, so verwandelt sich diese Formel wieder in jene, welche §. 12. für diesen Fall gefunden worden ist.

§. 23. Sezt man $W = A$, so hat man ein gleich weites Gefäß ABCD mit einer
Fig. 12. wagrechten durchlochten Scheidewand mn, und es verwandelt sich obige Gleichung in

$$v = \frac{2\sqrt{[g\,(h+l)]}}{\sqrt{\left(1+\frac{a^2}{\varphi^2}+2\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^3}{A^3}-2\frac{a^2\varphi}{A^3}\right)}},$$

und, wenn auch $\varphi = a$ ist, in

$$v = \frac{2\sqrt{[g\,(h+l)]}}{\sqrt{\left(2+2\frac{a^2}{A^2}-3\frac{a^3}{A^3}\right)}}$$

§. 24. Bey den drey übereinander gesezten Gefäßen ABCD, mnop, cdef ist,
Fig. 13. wenn sie beständig voll bleiben, die der Ausflußgeschwindigkeit durch die lezte, oder Bodenöfnung α zuständige Höhe

$$\frac{v^2}{4g} = H\left[1+\frac{\alpha^2}{a^2}+\frac{\alpha^2}{\varphi^2}+\frac{\alpha^2}{A^2}\left(1-\frac{\varphi}{A}\right)+\frac{\alpha^2}{W^2}\left(2-2\frac{a}{W}-\frac{\varphi}{W}\right)+\frac{\alpha^2}{\omega^2}\left(1-\frac{\alpha}{\omega}-\frac{a}{\omega}\right)\right]$$

Dabey

Dabey ist

H die ganze Höhe vom Wasserspiegel im obersten Gefäße bis zur Bodenöfnung α,

A die Weite des obersten Gefäßes ABCD,

W die Weite des zweyten mnop,

ω — — — des dritten cdef,

φ die Weite der ersten,

a die Weite der zweyten Durchflußöfnung.

α die Weite der Ausfluß- oder Bodenöfnung.

§. 25. Für $\omega = a = W$ verwandelt sich die lezte Formel wieder in jene, welche wir §. 21. für diesen Fall gefunden haben.

§. 26. Sind alle 3 Oefnungen von gleicher Weite, oder $\alpha = a = \varphi$, so ergiebt sich nach derselben Formel

$$v = \frac{2\sqrt{gH}}{\sqrt{\left(3 + \frac{\alpha^2}{A^2} - \frac{\alpha^3}{A^3} + 2\frac{\alpha^2}{W^2} - 3\frac{\alpha^3}{W^3} - \frac{\alpha^2}{\omega^2} - 2\frac{\alpha^3}{\omega^3}\right)}}$$

§. 27. Fig. 14. Bey einem gleich weiten Gefäße ABCD, in welchem mehrere durchlochte wagrechte Scheidwände in verschiedener Höhe über einander angebracht sind, findet man, wenn alle Oefnungen gleich weit sind, und die Anzahl der Scheidwände n ist,

$$v = \frac{2\sqrt{gH}}{\sqrt{\left[1 + n\left(1 + 2\frac{a^2}{A^2} - 3\frac{a^3}{A^3}\right)\right]}}.$$

§. 28. Zur Anwendbarkeit der in diesem Kapitel angegebenen Formeln gehören noch folgende zwey Umstände: 1) dürfen die Scheidwände nicht zu nahe an einander stehen, 2) darf die unterste oder Bodenöfnung nicht weiter als $\frac{1}{4}$ Zoll seyn, wenn der Ausfluß in die freye Luft geschieht, oder es muß diese Oefnung selbst unter Wasser stehen.

Viertes Kapitel.

Zusammenziehung des Wasserstrahls.

§. 29. Die Erfahrung lehrt, daß der Querschnitt des aus einem Gefäße durch eine kleine Oefnung ausströmenden Wasserstrahls kleiner als die Oefnung selbst ist.

§. 30. Diese Zusammenziehung ist eine Wirkung des Seitendruckes der untersten rings um die Oefnung befindlichen Wasserschichten; und sie wird daher desto unbeträchtlicher, je weiter die Oefnung gegen die Weite des Gefäßes ist. Bey einem Gefäße ohne Boden, so wie bey einer gleich weiten, etwas langen, Ansatzröhre findet gar keine Zusammenziehung in der Mündung statt.

§. 31. Man hat bey Oefnungen, welche gegen die Weite des Gefäßes sehr klein sind, bemerkt, daß der kleinste Durchmesser des zusammengezogenen Wasserstrahls zum Durchmesser der Oefnung, wenn diese in einer dünnen Platte angebracht ist, wie 0,816: 1; wenn aber die Oefnung mit einer kurzen Ansatzröhre versehen ist, wie 9: 10 sich verhält.

§. 32. Wenn die Anzahl Kubickzolle, welche in einer Sekunde ausfliessen, $= Q$, der Querschnitt der Oefnung in □ Zollen $= a$, die (beständige) Höhe des Wasserstandes über der Oefnung in Zollen $= h$, und die Beschleunigung der Schwere in Zollen $= g$ ist, so hat man allgemein, für Bodenöfnungen in einer dünnen Platte

$$h = \frac{Q^2}{1{,}532 \cdot a^2 \cdot g},$$

für Oefnungen mit einer kurzen Ansatzröhre

$$h = \frac{Q^2}{2{,}637 \cdot a^2 \cdot g},$$

wenn die Oefnung gegen die Weite des Gefäßes sehr klein ist.

§. 33. Wenn der Querschnitt des Gefäßes $= A$, der Bodenöfnung $= a$ ist, so kann man allgemein den kleinsten Querschnittt des zusammengezogenen Wasserstrahls

$$\alpha = \frac{a}{\sqrt{\left(2 - \frac{a}{A}\right)}}$$

annehmen.

§. 34.

§. 34—35. Durch Substitution des zusammengezogenen Querschnittes α für a werden die bisher gefundenen Formeln für die Ausflußgeschwindigkeiten und zugehörigen Druckhöhen, mit Rücksicht auf diese Zusammenziehung, berichtigt.

§. 36. Tafel, in welcher der Zusammenziehungskoeffizient $\frac{1}{\sqrt{(2 - \frac{a}{A})}}$ für verschiedene Werthe von $\frac{a}{A}$ von 1 bis $\frac{1}{20}$ berechnet ist.

Fünftes Kapitel.

Widerstand der Röhrenwände und ihrer Krümmungen.

§. 37. Der Widerstand und die Verzögerung, welchen das Wasser in langen Röhren leidet, rührt von der Adhäsion desselben an den Röhrenwänden, und dem unordentlichen Anstossen der sich immer kreutzenden Wasserfäden her. Lezteres kann man in jedem offenen Gerinne, wie Fig. 16, deutlich sehen.

§. 38. Herr dû Buat ein französischer Hydrodynamiker hat durch zahlreiche im Grossen angestellte Versuche auf einem ganz eigenen Wege eine allgemeine Formel gefunden, mittelst welcher die Grösse dieses Widerstandes für jeden gegebenen Fall genau berechnet werden kann.

§. 39. In seiner Grundformel

$$v = \frac{297\,(\sqrt{r} - 0{,}1)}{\sqrt{b} - \text{lognat}\,(\sqrt{b} + 1{,}6)} - 0{,}3\,(\sqrt{r} - 0{,}1)$$

ist v die mittlere Geschwindigkeit des am Ende der Röhre ausfliessenden Wassers, oder diejenige, welche mit dem ganzen Querschnitt der Oefnung multiplizirt die wirkliche Ausflußmenge giebt;

r — der mittlere Halbmesser, oder der Quotient des Querschnittes dividirt durch den vom Wasser berührten Umkreiß; bey einer Röhre, deren Durchmesser d ist, $= \frac{1}{4}$ d.

b — Das eingebildete Gefälle, oder derjenige Theil der drückenden Wassersäule, welcher ganz allein zur Ueberwindung dieses Widerstandes verwendet wird, auf die ganze Länge der Röhre L vertheilt.

alles in Zollen nach dem alten Pariſermaaße.

§. 40. Für die meisten Fälle in der Ausübung kann man sich folgender Formel mit hinreichender Genauigkeit bedienen

$$v = \frac{297\,(\sqrt{\tfrac{1}{4}\,d} - 0{,}1)}{\sqrt{\left(\frac{L + 53\,d}{H}\right)} - \text{lognat}\sqrt{\left(\frac{L + 53\,d}{H} + 1{,}6\right)} - 0{,}3\,(\sqrt{\tfrac{1}{4}\,d} - 0{,}1)}$$

Hiebey ist

d der Durchmesser der Röhre,

L die ganze Länge derselben,

H die ganze Druckhöhe vom Wasserspiegel im Behälter bis zur Ausflußmündung.

alles in Zollen nach dem alten Pariſermaaße.

§. 41. Wenn die Röhrenstrecke an einer oder mehreren Stellen, in vertikaler oder horizontaler Fläche, gekrümmt ist, so entsteht für jede dieser Krümmungen ein neuer Widerstand, welcher ebenfalls durch die Versuche des Herrn Buat bestimmt worden ist; und man hat

$$v = \frac{297\,(\sqrt{\tfrac{1}{4}\,d} - 0{,}1)}{\sqrt{\left(\frac{L\,(L + 53\,d)}{H\,(L - 8{,}427 . S^2 . d)}\right)} - \text{logn.}\sqrt{\left(\frac{L\,(L + 53\,d)}{H\,(L - 8{,}427 . S^2 . d)} + 1{,}6\right)} - 0{,}3\,(\sqrt{\tfrac{1}{4}\,d} - 0{,}1).}$$

wo S^2 die Summe von den Quadraten der Sinusse der verschiedenen Anstoßwinkel anzeigt, und alle übrigen Buchstaben die §. 40. angenommene Bedeutung haben.

§. 42. In Fällen, wo es auf die größte Schärfe nicht ankömmt, dient die kürzere bequemere Formel

$$H = \frac{v^2}{478}\left(1 + \frac{L}{53\,d} + \frac{S^2}{3000}\right)$$

mit Beybehaltung obiger Benennungen.

§. 43. Bey einem nicht unbedeutenden Verhältnisse der Röhrenweite a zur Weite des Gefäßes oder Behälters A hat man genauer

H =

$$H = \frac{v^2}{478}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3} + \frac{L}{53\,d} + \frac{S^2}{3000}\right)$$

oder, mit Rücksicht auf die beym Eintritt des Wassers aus dem Boden des Behälters in die Röhre statt findenden Zusammenziehung (§. 33.) allgemein

$$H = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{A^2\left(2 - \frac{a}{A}\right)} - \frac{a^3}{A^3\left(2 - \frac{a}{A}\right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{L}{53\,d} + \frac{S^2}{3000}\right)$$

§. 44. Allgemeine Formel für die mittlere Ausflußgeschwindigkeit aus einer langen Röhre, wenn die Ausflußmündung enger als die Röhre selbst ist.

Sechstes Kapitel.

Allgemeine Bestimmung der Kraft, welche erfordert wird, Wasser in Gefäßen und Röhren mit einer gegebenen Geschwindigkeit aufwärts zu bewegen.

---

§. 45. Fig. 19. II Tafel. Wenn die dichte Scheibe m n in dem Zylinder b c d e mit einer gegebenen Geschwindigkeit c aufwärts gedrückt, und das Wasser durch die Oefnung a mit der Geschwindigkeit $v = C.\frac{A}{a}$ ausgesprizt werden soll, so ist hiezu, für den Beharrungsstand, eine Kraft P erforderlich

$$= A\left[1 + \frac{C^2}{4g}\left(1 + \frac{2A^2 - Aa}{a^2} - \frac{a}{\sqrt{(2A^2 - Aa)}} + \frac{l}{53D}\right)\right]$$

wobey A die Kreißfläche der Scheibe m n,

D den Durchmesser derselben,

a den Querschnitt der Oefnung a,

l die Höhe der Wassersäule b m

anzeigt.

§. 46. Fig. 20. Eben so groß ist der Widerstand, welchen der Druck der Atmosphäre von oben auf die Scheibe m n ausübt, wenn diese mit derselben Geschwindigkeit c aufwärts gezogen, und das Wasser durch die Bodenöfnung a aus einer unbegränzten Wassermasse s s eingesaugt werden soll.

§. 47.

§. 47. Fig. 21. Hier ist der Widerstand, welchen die mit der Geschwindigkeit c aufwärts gedrückte Scheibe m n, im Beharrungsstande, leidet, dem Gewicht einer Wassersäule gleich, deren Höhe

$$\eta = h + l + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{h}{53\,D} + \frac{A^2}{\alpha^2} + \frac{A^2}{W^2}\left(1 + \frac{l}{53\,\delta}\right) - \frac{A^2\,\alpha}{W^3} - \frac{\alpha}{A}\right)$$

ist, wenn h die Höhe A m,

l die Höhe f c,

D den Durchmesser des Zylinders A B C D,

A dessen Querschnitt,

δ den Durchmesser des Rohres b c d e,

W dessen Querschnitt,

α den (zusammengezogenen) Querschnitt der Oefnung a

anzeigt.

§. 48. Wenn a = W angenommen wird, so verwandelt sich die lezte Formel in

$$\eta = h + l + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{h}{53\,D} + \frac{A^2}{W^2}\left(1 + \frac{l}{53\,\delta}\right) - \frac{W}{A}\right].$$

§. 49. Fig. 22. Hier ist die Widerstandshöhe

$$\eta = h + l + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{h}{53\,D} + \frac{A^2}{\alpha^2} + \frac{A^2}{\varphi^2} + \frac{A^2}{W^2}\left(1 + \frac{l}{53\,\delta} - \frac{\alpha + \varphi}{W}\right) - \frac{\alpha}{A}\right]$$

wobey α den zusammengezogenen Querschnitt der Oefnung a,

φ den zusammengezogenen Querschnitt der Oefnung φ

anzeigt, alle übrigen Buchstaben die im vorhergehenden §. angenommene Bedeutung haben.

§. 50. Die Richtigkeit der lezten Formel wird dadurch bestätigt, daß sie sich, wenn man W = a = A, oder auch φ = A sezt, immer wieder in die oben für diese Fälle gefundenen Formeln verwandelt.

§. 51.

§. 51. Für diesen Fall ist die Widerstandshöhe

Fig. 23.

$$\eta = H + \frac{C^2}{4g}\left[1 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{l}{53\,\delta} - \frac{a+\varphi}{\omega}\right) + \frac{W^2}{A^2}\left(1 + \frac{h}{53\,D} - \frac{a}{A}\right)\right].$$

Hiebey ist

H die ganze Wasserhöhe vom Kolben m n bis zum Rande r u,

C die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus r u fließt,

W der Querschnitt des Zylinders r s t u,

ω der Querschnitt des Rohres b c d e,

δ der Durchmesser desselben,

A der Querschnitt des Zylinders A B C D,

D der Durchmesser desselben,

φ der zusammengezogene Querschnitt der obern,

a der zusammengezogene Querschnitt der untern Durchflußöfnung;

l die Länge oder Höhe des Rohres b c,

h die Höhe A m.

§. 52. Eben so groß ist der Druck, welchen die Atmosphäre auf den mit der Geschwin-

Fig. 24. digkeit c aufwärts gezogenen Kolben m n im Zylinder M N O R äussert, und es gilt für diesen Fall ganz dieselbe Formel, wenn

A die Weite des Behälters A B C D,

D dessen Durchmesser,

W die Weite des Zylinders M N O R,

ω die Weite des Saugrohrs b c d e,

δ dessen Durchmesser,

a dessen untere,

φ dessen obere (zusammengezogene) Mündung,

H die ganze Wasserhöhe vom Wasserspiegel s s bis an den Kolben m n,

l die Länge des Saugrohrs

anzeigt.

Siebentes Kapitel.

Gesetze der Beschleunigung der in Gefäßen sich bewegenden, und durch Oefnungen und Röhren ausfliessenden Wassermassen.

§. 53—54. Wenn das Wasser durch die Bodenöfnung a eines prismatischen oder zylin-
I. Tafel. drischen Gefäßes ABCD ausfließt, und die auslaufende Wassermenge durch ei-
Fig. 5. nen beständig gleichen Zufluß von oben so ersezt wird, daß die Höhe des Was-
serstandes eB immer unveränderlich = h bleibt, so ist die Beschleunigung der sinkenden Wassermasse eBCe, mit Beybehaltung der bisherigen Benennungen

$$f = g\left[1 - \frac{v^2}{4gh}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right)\right].$$

§. 55. Die Bewegung dieser Wassermasse, folglich auch die Geschwindigkeit des durch a ausströmenden Wassers beschleunigt sich ohne Ende, und wird (im strengsten mathematischen Sinne) eigentlich nie gleichförmig.

§. 56. Bey einem etwas beträchtlichen Verhältnisse von A: a nähert sich indessen diese Geschwindigkeit derjenigen, welche dem Beharrungsstande zugehört, so ungemein schnell, und beschleunigt sich hiernächst so unmerklich, daß man solche, ohne allen merklichen Irrthum, gleich vom Anfange der Bewegung für gleichförmig und als im Stande der Beharrung annehmen kann.

§. 57—58. Eben dasselbe gilt für den Ausfluß aus einem Gefäße ABCD mit einer zy-
Fig. 6. lindrischen Ansatzröhre mnop, so fern die Länge derselben nicht beträchtlich, und der Querschnitt derselben gegen die Weite des Gefäßes sehr klein ist.

§. 59. Ueberhaupt darf man als Grundsatz annehmen,

daß die Geschwindigkeiten der in Gefäßen und Röhren (von mässiger Länge) sich bewegenden Wassermassen sehr bald nach dem Anfange der Bewegung beynahe gleichförmig werden, und zwar desto schneller, je grösser die Hindernisse sind, welche sich ihrer Bewegung entgegen setzen, und welche selbst Funktionen dieser Geschwindigkeiten sind.

§. 60. Wenn das anfänglich auf die Höhe AB mit Wasser gefüllte zylindrische oder
II. Tafel. prismatische Gefäß ABCD sich durch die zylindrische Ansatzröhre φ a ohne
Fig. 26. Zufluß ausleert, so ist die Zeit, in welcher der Wasserspiegel von AD bis mn um die Tiefe Am = x niedersinkt,

$$t = \frac{A \cdot \sqrt{2}}{a \cdot \sqrt{g}} \left[\sqrt{H} - \sqrt{(H - x)} \right].$$

Hiebey ist

A die Weite des Gefäßes,

a der Röhre und Ausflußöfnung,

H die ganze anfängliche Höhe vom Wasserspiegel AD bis zur Ausflußmündung a,

B der Koeffizient des Widerstandes

$$= 1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3} + \frac{1}{53\delta}.$$

§. 61. Ist umgekehrt die Zeit t gegeben, und man sucht die Tiefe x, um welche der Wasserspiegel in dieser Zeit niedersinkt, so hat man

$$x = \frac{2 a t \sqrt{g H)}}{A \sqrt{B}} - \frac{g t^2 a^2}{B \cdot A^2}.$$

§. 62. Wenn das Gefäß ABCDEF beständig mit Wasser angefüllt erhalten wird, so
Fig. 27. ist die Zeit t, in welcher die Wasserfläche mm in dem Rohre abcd bis nn um das Stück nm = x steiget,

$$t = \frac{\sqrt{B}}{\sqrt{g}} \left[\sqrt{(k - h)} - \sqrt{(k - h - x)} \right],$$

$$\text{und } x = \frac{t}{B} \left[2 \sqrt{[g B (k - h)]} - g t \right].$$

Dabey ist

k die beständige drückende Wasserhöhe EF,

h die anfängliche Wasserhöhe mb in dem Rohr abcd,

B der Widerstandskoeffizient.

Achtes Kapitel.

Anwendung der bisher vorgetragenen Lehren auf die Theorie der Saugpumpen; Bestimmung der zu ihrer Bewegung erforderlichen Kraft für den Beharrungsstand.

§. 63. Allgemeine Klassifizierung aller Pumpen in Saugwerke, Hebwerke und Druckwerke. — vereinbarte Saug- und Hebwerke — vereinbarte Saug- und Druckwerke.

§. 64. Die von den H. H. Karsten und Langsdorf angegebenen Formeln über das progressive Steigen des Wassers in Saugröhren beym Anfange des Kolbenspiels sind von keinem praktischen Nutzen, und gründen sich auf eine Voraussetzung, welche in der Natur niemals statt findet.

§. 65. Unschädlichkeit des sogenannten schädlichen Raumes, welcher schicklicher unnützer oder unvermeidlicher Raum genennt würde.

§. 66. Fig. 34. Wenn in dem Zylinder ABCD das Wasser aus dem Gefäße MNOP den steigenden Kolben m m in jedem Augenblicke einholen soll, so ist die geringstmögliche Zeit, in welcher dieser den Weg b zurücklegen darf

$$t = \frac{\sqrt{B}}{\sqrt{g}} \left[\sqrt{(k-h)} - \sqrt{(k-h-b)} \right].$$

Dabey ist

k die Höhe einer Wassersäule, welche dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht hält,

h die anfängliche Höhe m s des Kolben über der untern Wasserfläche,

B der Koeffizient des Widerstandes.

§. 67. Fig. 24. Anwendung der lezten Formel auf eine gewöhnliche Saugpumpe.

§. 68. Zur vortheilhaften Einrichtung eines Saugwerks ist es keineswegs genug, wenn das Wasser den steigenden Kolben in jedem Augenblicke einholt, sondern es wird vielmehr erfordert, daß die dem Wasser in der Höhe des Kolbens zugehörige Geschwindigkeit noch einen beträchtlichen Ueberschuß über jene des Kolbens behalte; und es fließt hieraus die Regel:

Man

Man lasse die Zeit, in welcher der Kolben von seiner tiefsten bis zur höchsten Stelle gehoben wird, in keinem Falle kleiner als

$$\frac{\sqrt{B}}{\sqrt{g}}\left[\sqrt{(k-h)}-\sqrt{(k-h-b)}\right]$$

werden, sondern suche vielmehr, wenn die Zeit des Kolbenhubes schon bestimmt ist, die Abmessungen der Pumpe so einzurichten, daß der Koeffizient B, so viel möglich kleiner als

$$\frac{gt^2}{\left[\sqrt{(k-h)}-\sqrt{(k-h-b)}\right]^2}$$

ausfalle.

§. 69. Bey einem sogenannten niedern Satz (einer gewöhnlichen Saugpumpe) ist
Fig. 35. die zum Hube des Kolben für den Beharrungsstand erforderliche Kraft (wenn das Wasser schon bis zur Ausgußstelle gestiegen ist)

$$P = WH + W.\frac{c^2}{4g}\left[2 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{l}{53\,\delta} - \frac{\varphi+a}{\omega}\right)\right].$$

Dabey ist

W die Weite des Kolbenrohrs,

H die ganze Höhe der Pumpe vom Sumpf bis zum Ausguß,

c die Geschwindigkeit des Kolben,

ω die Weite des Saugrohrs,

δ dessen Durchmesser,

l die Länge desselben,

φ die zusammengezogene Weite der Ventilöfnung,

a die zusammengezogene Weite der untern, oder Einsaugmündung.

§. 70. Unter denselben Umständen ist die für den Schub oder Niedergang des Kolben
Fig. 35. erforderliche Kraft, wenn der Kolben ein Klappenventil hat,

$$R = W.\frac{u^2}{4g}\left(2 + \frac{W^2}{\mu^2} - 2\frac{\mu}{W} - \frac{W}{\mu} - \frac{r}{W}\right) + r(h-x),$$

wenn der Kolben ein Muschel- oder Kegelventil hat, oder bey der gewöhnlichen Scheibenliederung hingegen

$$R = W.\frac{u^2}{4g}\left(2 + \frac{W^2}{\mu^2} - \frac{r}{W}\right) + r\,(h - x).$$

Dabey ist

u die Geschwindigkeit des niedergehenden Kolben,

μ die (zusammengezogene) Weite der in demselben angebrachten Ventilöfnung,

r die Dicke der im Wasser gehenden Kolbenstange,

h die lothrechte Entfernung des Kolbens in seiner tiefsten Stelle vom Ausguß,

x der vom Kolben im Niedergehen zurückgelegte Weg.

Anmerkung. Ausserordentliche Kraftverschwendung bey den in Deutschland noch häufig üblichen Scheibenkolben. Der Widerstand, welchen das durch die engen Löcher dieser Kolben, und zwischen den ledernen Scheiben und dem Kolbenrohr durchgepreßte Wasser im Schube, besonders bey einem etwas lebhaften Gange, verursacht, übertrift unter gewissen Umständen die eigentliche beym Hube zu gewältigende Wasserlast.

Neuntes Kapitel.

Nähere Bestimmung der zur Bewegung der Kolben erforderlichen Kraft mit Rücksicht auf die Trägheit der bey jedem Hube von neuem in Bewegung zu setzenden schweren Massen.

---

§. 71. Wenn der Kolben einer schon ganz mit Wasser angefüllten Saug- und Hebpumpe durch eine beständige Kraft P in Bewegung gesezt wird, so ist die Beschleunigung desselben bey seinem Aufzuge

$$f = \frac{B}{4v}\left(V^2 - c^2\right).$$

Dabey

Dabey ist

B der von den Verhältnissen der Pumpe abhangende beständige Koefficient des hydraulischen Widerstandes (§. 60.)

v die Höhe einer Wassersäule auf der Grundfläche des Kolbens, deren Masse der Summe aller mit dem Kolben zugleich in Bewegung gesezten Massen gleich ist.

V Die größte Geschwindigkeit, welche der Kolben im Beharrungsstande erreichen kann,

c die wirkliche (veränderliche) Geschwindigkeit desselben.

§. 72. Die Zeit, in welcher der steigende Kolben eine gegebene Geschwindigkeit $c < V$ erreicht, ist

$$\tau = \frac{v}{B.V} \cdot \text{lognat} \left[\frac{V + c}{V - c}\right],$$

also für $c = V$; $\tau = \infty$; das heißt:

die Bewegung des Kolben beschleunigt sich ohne Ende, und wird eigentlich niemals gleichförmig.

§. 73—74. Die Geschwindigkeit des steigenden Kolben nähert sich indessen in den meisten Fällen sehr bald nach dem Anfange der Bewegung derjenigen, welche dem Beharrungsstand zukäme; und die Bewegung wird desto früher beynahe gleichförmig,

1) je geringer die Summe aller in Bewegung zu setzenden Massen ist,

2) je mehr Hindernisse die steigende Wassersäule in ihrer Bewegung durch die Saugröhre, Ventilöfnungen u. d. gl. findet,

3) je grösser das Uebergewicht der Kraft über die hydrostatische Last und die Reibung ist.

§. 75. Bey einer vereinbarten Saug- und Hebpumpe, deren Kolben durch eine gegebene beständige Kraft aufgezogen wird, ist der in einer gegebenen Zeit t zurückgelegte Raum vom Anfange der Bewegung

$$s = 2\frac{v}{B} \cdot \text{lognat}\left[\frac{E^{\frac{tBV}{v}} + 1}{2E^{\frac{tBV}{2v}}}\right]$$

Dabey

Dabey ist E die Grundzahl des natürlichen logarithmischen Systems, alle übrigen Buchstaben in der Bedeutung des §. 71.

§. 76. Unter denselben Bedingungen ist die Zeit

$$t = \frac{v}{BV} \cdot \text{lognat} \left[\frac{E^{\frac{sB}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{sB}{v}} - 1\right)}}{E^{\frac{sB}{2v}} - \sqrt{\left(E^{\frac{sB}{v}} - 1\right)}} \right].$$

§. 77. Eben so ist die ganze erforderliche Kraft, den Kolben in der Zeit t auf die Höhe b zu heben, einer Wassersäule gleich, deren Höhe

$$\eta = H + \rho + \frac{v^2}{4gt^2 B} \left[\text{lognat} \frac{E^{\frac{bB}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}}{E^{\frac{bB}{2v}} - \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}} \right]^2.$$

Dabey ist H die ganze Höhe der Pumpe vom Wasserspiegel im Sumpfe bis zum Ausguß; ρ die Höhe einer Wassersäule, deren Druck auf der Fläche des Kolbens dem Widerstande seiner Reibung gleich ist; alle übrigen Buchstaben in der vorigen Bedeutung.

§. 78. Anwendung der lezten Formel auf ein Beyspiel.

§. 79. Durch Annäherung wird für das zur Bewegung des steigenden Kolben erforderliche Uebergewicht ein kürzerer und bequemerer Ausdruck gefunden:

$$\eta = H + \rho + \frac{B}{4gt^2} \left(b + 1{,}3762 \cdot \frac{v}{B} \right)^2$$

§. 80. Eben dieselbe Formel wird aus der Gleichung für s (§. 75.) hergeleitet.

§. 81. Die bewegende Kraft hat beym Hube des Kolben einen dreyfachen Widerstand zu überwinden:

die hydrostatische Last W.H,

den hydraulischen Widerstand $W.B.\frac{b^2}{4gt^2}$,

den mechanischen Widerstand

$$W.\frac{v}{4gt^2}\left(2{,}77 \cdot b + 1{,}92 \cdot \frac{v}{B}\right).$$

§. 82.

§. 82. Die Beschleunigung des von einer gegebenen, beständigen, Kraft p niedergedrückten Kolben ist

$$f = \frac{K}{4m}\left(U^2 - u^2\right).$$

Dabey ist K der Koeffizient des hydraulischen Widerstandes §. 70.

U die größte Geschwindigkeit, welche die Kraft p dem niedergehenden Kolben, im Beharrungsstande, mitzutheilen vermag,

u die wirkliche Geschwindigkeit desselben,

m die Höhe einer Wassersäule, welche auf der Grundfläche des Kolbens ihn eben so wie die verschiedenen mit ihm bewegten Massen beschleunigen würde.

§. 83. Wenn der Kolben von der Kraft p in der Zeit t die ganze Länge des Schubes b niedergedrückt werden soll, so muß

$$\frac{p}{W} = \frac{m^2}{4gt^2.K}\left[\text{lognat}\,\frac{E^{\frac{Kb}{2m}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}}{E^{\frac{Kb}{2m}} - \sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}}\right]^2,$$

oder, nach einem kürzern beynahe gleichgeltenden Ausdrucke,

$$\frac{p}{W} = \frac{K}{4gt^2}\left(b + 1{,}386.\,\frac{m}{K}\right)^2$$

seyn.

§. 84. Für die ganze zur Bewegung des Kolbens bey seinem Aufzuge erforderliche Kraft hat man auch

$$\eta = H + \rho + \frac{v^2}{gt^2.B}\left[\text{lognat}\left[E^{\frac{Bb}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Bb}{v}} - 1\right)}\right]\right]^2,$$

so wie für den niedergehenden Kolben

$$\frac{P}{W} = y = \frac{m^2}{gt^2.K}\left[\text{lognat}\left[E^{\frac{Kb}{2m}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}\right]\right]^2,$$

welches

welches mit den beyden §. 77. und §. 83. angegebenen Formeln ganz gleichgeltende Ausdrücke sind.

§. 85. Wegen der Zusammenziehung, die das Wasser im Durchströmen durch die Oefnungen der Saugröhre und Ventile leidet, und dem begränzten Hube der Klappen darf man bey Bestimmung der Koeffizienten B und K die eigentlichen Querschnitte des durchströmenden Wassers überhaupt nie grösser als $0{,}4 . \varphi$ oder $0{,}4 . \mu$ annehmen.

Zehntes Kapitel.

Vollständige Berechnung eines doppelten Saugwerks.

§. 86. Fig. 36. Vortheile der gleichförmigen Vertheilung der Last, und Balanzierung der Maschinentheile mittelst doppelter Pumpen, deren Kolben in entgegengesezter Richtung bewegt werden. — Vorzüge der Einrichtung mit vorgelegtem Zeuge.

§. 87. Fig. 36. Formel zur genauen Bestimmung der Kraft, welche an dem Punkte D des Kunstkreutzes ABD angebracht werden muß, um in einer gegebenen Zeit den einen Kolben zu heben, und den andern nieder zu drücken.

§. 88. Wo es auf die größte Schärfe nicht ankömmt, dient die kürzere Formel

$$P = \frac{i}{e} . W \left[H + \frac{B\left(b + 1{,}39 . \frac{v}{B}\right)^2 + K\left(b + 1{,}39 . \frac{m}{K}\right)^2}{4g . t^2} + 2\rho \right]$$

Dabey ist

i der Abstand der Kolbenstangen von der Achse des Kunstkreutzes,

e — Abstand der Korbstange aa;

alle übrigen Buchstaben in den bisher angenommenen Bedeutungen.

§. 89. Bestimmung der Grössen v und m in der lezten Formel. — Bey Berechnung des von der Trägheit herrührenden Widerstandes hat man nicht nur die über dem Kolben befindliche und von selbem gehobene, sondern auch die unter demselben und im Saugrohr enthaltene durch den Kolben aufwärts gezogene Wassersäule in Rechnung zu bringen. Auch in dieser Rücksicht sind weite Saugröhren zu empfehlen.

§. 90.

§. 90. Die Reibung eines nach englischer Art über den Sturz geliederten Kolben in einem auf einer guten Bohrmaschine genau ausgebohrten Zylinder kann dem Druck einer Wassersäule von der Höhe

$$\rho = 0{,}3 \cdot \frac{H}{D}$$

gleich geschäzt werden, wobey ρ und H in Fussen, und der Durchmesser des Kolbenrohrs D in Zollen ausgedrückt ist.

§. 91. Hiebey wird aber vorausgesezt, daß die Kolbenstange nicht schief, sondern genau in der Richtung der Achse des Kolbenrohrs bewegt werde, und lezters selbst ganz saiger stehe.

§. 92. Die Summe der vom Kolben während seinem Steigen ausgehobenen, und der von demselben bey seinem Niedergange ausgedrückten Wassermengen ist allemal (bey vollkommner Dichte) dem Produkte aus der ganzen Kolbenfläche in die Länge des Hubes gleich.

§. 93. Anwendung der vorhergehenden Formeln auf die Berechnung eines doppelten Saugwerkes von gewöhnlichen Abmessungen, woraus die ungeheure Kraftverschwendung erhellet, die bey grossen nach alter Art gebauten Wasserkünsten statt findet.

Anmerkung. Der grösste Nachtheil langer und enger Saugröhren besteht in der Nothwendigkeit, Pumpen dieser Art äusserst langsam gehen zu lassen, und der Unmöglichkeit mit solchen zu gewältigen. —

Sonderbare Theorie der Saugwerke von Herrn Professor Lempe.

Eilftes Kapitel.

Theoretische und praktische Grundsätze zur möglich vortheilhaftesten Anordnung eines Saugwerks.

---

§. 94—95. Wenn die von einer Pumpe in jeder Minute gehobene Wassermenge M, die Weite des Kolbenrohrs W, die Länge des Hubes b, und die Anzahl Hübe, welche in einer Minute geschehen, n ist, so hat man (wenn Kolben und Ventile kein Wasser fallen lassen)

$$M = n . W b .$$

§. 96.

§. 96. Eine für die Ausübung sehr wichtige Frage:

Sind enge Kolbenröhren mit einem langen Hube oder weite Kolbenröhren mit einem kürzeren Hube vorzuziehen?

§. 97. Es ist in Rücksicht auf den hydrostatischen Widerstand vollkommen gleichgiltig, ob das Kolbenrohr weit und der Hub kurz, oder ob dieser lang und jenes enger sey, wenn der kubische Inhalt des Hubes in beyden Fällen gleich groß ist.

§. 98. Eben dasselbe gilt, unter gleicher Voraussetzung, von dem hydraulischen Widerstande.

§. 99. Das Moment des mechanischen Widerstandes ist bey einem engen Kolbenrohr mit langem Hube verhältnißmäßig grösser, als bey einem weitern Kolbenrohr mit kürzerm Hube, wenn in beyden Fällen die Saugröhren und Ventilöfnungen gleich weit sind.

§. 100. Aus verschiedenen praktischen Gründen ist indessen, (bey festgesezter Anzahl der Kolbenhübe) ein mässig langer Hub mit einem engen Kolbenrohr einem weiten Stiefel mit einem kurzen Hube vorzuziehen. Allgemein kann man sich an folgende Regel halten:

Die Geschwindigkeit des steigenden Kolben sey nie kleiner als $\frac{3}{4}$ Fuß, und nie grösser als $2\frac{1}{2}$ Fuß.

§. 101. Dieß giebt die Anzahl der Hübe in einer Minute, für die geringste Geschwindigkeit des Kolben,

$$n = \frac{22,5}{b},$$

für die größte Geschwindigkeit desselben

$$n = \frac{75}{b}.$$

§. 102. Eine der wichtigsten praktischen Regeln:

Man gebe den Kolben einen so langen Hub, als es sich in der Ausübung nur immer thun läßt, und suche, wo möglich, eine solche Einrichtung zu treffen, daß dagegen die Anzahl der Kolbenhübe in einer Minute vermindert werde.

§. 103. Die Anzahl der neben einander gestellten (in derselben Höhe ausgiessenden) Sätze sey, bey Radbewegungen, nie kleiner als 2, und nie gröſſer als 4.

§§. 104 — 105. Wenn die Weite des Kolbenrohrs, der Saugröhre und der Ventilöfnung nebst der Länge und Zeit des Hubes gegeben sind, so darf die Länge des Saugrohrs nicht gröſſer als

$$l = k - s - \frac{B}{gt^2}\left(b + \frac{gt^2}{4B}\right)^2$$

seyn. Dabey ist s die Entfernung des Kolbens in seinem tiefsten Stande vom Thürel; alle übrigen Buchstaben in den bisher angenommenen Bedeutungen.

§. 106. Eben so ist, wenn die Länge des Saugrohrs nebst allen übrigen Gröſſen bestimmt ist, der gröſstthunliche Werth des Widerstandskoeffizienten

$$B = \frac{gt^2}{2b^2}\left[k - s - l - \tfrac{1}{2}b + \sqrt{\left((k - s - l - \tfrac{1}{2}b)^2 - \tfrac{1}{4}b^2\right)}\right]$$

§. 107. Bey einer zweckmässigen Anordnung aller Theile einer Saugpumpe ist der geringstmögliche Werth dieses Widerstandskoeffizienten

$$B = 2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2},$$

so wie das geringstschickliche Verhältniß der Weite des Saugrohrs zur Weite des Stiefels

$$\frac{\omega}{W} = \frac{5{,}019 \cdot b}{\sqrt{\left(gt^2\left[q - \tfrac{1}{2}b + \sqrt{(q^2 - qb)}\right] - 4b^2\right)}}.$$

Dabey ist $q = k - (l + s)$; die übrigen Benennungen wie oben.

§. 108. Man hat daher, bey gehöriger Anordnung, allgemein das zum Hube des Kolben erforderliche Uebergewicht

$$W.z = W.\frac{\left(2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}\right)}{4gt^2}\left(b + 1{,}39 \cdot \frac{v}{2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}}\right)^2,$$

und, nach §. 104, die grösstthunliche Höhe des Saugrohrs

$$l = k - s - \frac{2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}}{gt^2}\left(b + \frac{gt^2}{8 + 50{,}4 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}}\right)^2.$$

§. 109. Die in den bisherigen Rechnungen vorkommende Grösse k ist an jedem Orte aus dem niedrigsten Queckſilberstande im Barometer, und der spezifischen Schwere des zu hebenden Wassers zu bestimmen. So ist z. B. auf Salzwerken für ζ löthige Soole

$$k = \frac{1{,}1325 \cdot \psi}{1 + 0{,}00728 \cdot \zeta} \text{ Fuß,}$$

wenn ψ den niedrigsten Barometerstand in Zollen ausdrückt.

§. 110. Die §. 105, und §. 107. angezeigten Bestimmungen für l und $\frac{W}{\omega}$ geben keineswegs die vortheilhaftesten, sondern eigentlich nur die gröſtschicklichen Werthe dieser Grössen an, und es steht in der Ausübung frey, l kleiner und das Verhältniß $\omega : W$ gröſſer zu nehmen.

§. 111. Wenn das zur Bewegung des Kolben erforderliche Uebergewicht ein Kleinstes seyn soll, so muß der Koeffizient des hydraulischen Widerstandes

$$B = 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}$$

seyn. Hieraus ergiebt sich (bey gehöriger Anordnung der Schlundöfnung und des Ventiles) die vortheilhafteste Weite des Saugrohrs

$$\omega = \frac{W}{0{,}055 \cdot \frac{\lambda}{b} + \sqrt{\left(0{,}1103 \cdot \frac{h+\theta}{b} + 0{,}003 \cdot \frac{\lambda^2}{b^2} - 0{,}158\right)}}.$$

Dabey ist

λ die Länge des Saugrohrs,

h die Höhe des Stiefels vom Ventile bis zum Ausguß,

θ die Höhe einer Wassersäule auf der Grundfläche des Stiefels W, deren Masse den Kolben eben so, wie die verschiedenen mit ihm bewegten festen Massen, beschleunigen würde.

§. 112.

§. 112. Bey jeder Saugpumpe ist allgemein das geringsterforderliche Uebergewicht für den Kolbenhub, bey der vortheilhaftesten Einrichtung, dem Gewicht einer Wassersäule auf der Kolbenfläche gleich, deren Höhe

$$z = 1{,}39 \cdot \frac{v \cdot b}{g \cdot t^2}$$

ist.

§. 113. Das Moment des zum Hube des Kolben erforderlichen Uebergewichtes ist

$$pc = 1{,}39 \cdot Q \cdot \frac{v \cdot c^2}{g \cdot b},$$

wenn Q die in einer Sekunde von der Pumpe ausgegossene Wassermenge, und c die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens anzeigt. Dieses Moment ist daher, für dieselbe Wassermenge, desto kleiner, je länger der Hub, und je langsamer die Bewegung des Kolbens ist.

§. 114. Die vortheilhafteste Weite der im Kolben anzubringenden Ventilöfnung, oder dasjenige Verhältniß dieser Oefnung zur Weite des Stiefels, wobey der Widerstand beym Niedergehen des Kolben am kleinsten wird, ist

$$u = \frac{W}{0{,}15 + 0{,}3\sqrt{\left(1{,}39 \cdot \frac{m}{b} + \frac{r}{W} - 1{,}75\right)}}.$$

Dabey ist

m die Höhe einer Wassersäule auf der Grundfläche des Kolben W, deren Beschleunigungsmoment jenen der übrigen mit dem Kolben zugleich in Bewegung gesezten schweren Massen gleich wäre.

r Der Querschnitt der Kolbenstange;

§. 115. Auch beym Schube des Kolbens, wie beym Hub, wird, bey einerley Wassermenge, ein desto kleineres Kraftmoment erfordert, je länger der Schub ist.

§. 116. Bey einem doppelten Saugwerk ist das ganze zur Bewegung erforderliche Kraftmoment, bey der möglich vortheilhaftesten Anordnung,

$$\Pi = \frac{M}{60}\left[H + \frac{c^2}{g}\left(0{,}0078\left[45 + \frac{m}{b}\right]^2 + 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}\right)\right].$$

Dabey

Dabey ist H die saigere Wasserhöhe vom Sumpf bis zum Ausguß einer Pumpe.

c Die mittlere Geschwindigkeit der Kolben,

M die in einer Minute ausgeschüttete Wassermenge in Kubickfussen.

Die übrigen Buchstaben in den obigen Bedeutungen.

§. 117. Bey mehreren übereinander gestellten Satzreihen, deren Anzahl N ist, hat man

$$\Pi = \frac{M}{60}\left[H + N\left(1 + \frac{c^2}{g}\left[0{,}0078\left(45 + \frac{m}{b}\right)^2 + 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}\right]\right)\right]$$

wenn H die ganze saigere Höhe vom Sumpf bis zum Ausguß des obersten Satzes anzeigt.

§. 118. Bestimmung der Grössen m und v bey einer vorläufigen Berechnung einer zu machenden Anlage.

§. 119. Anwendung obiger Formeln auf ein gegebenes Beyspiel, zwölflöthige Soole mittelst einer Pferdemaschine zu heben.

Zwölftes Kapitel.

Theorie der vereinbarten Saug- und Hebwerke; Grundsätze zu ihrer vortheilhaftesten Anordnung; Vorzüge derselben vor den niedern Sätzen.

---

§. 120. Der Widerstand, welchen die über dem Kolben im Aufsatzrohr befindliche, mit demselben zugleich gehobene Wassersäule verursacht, ist, im Stande der Beharrung, dem Gewicht einer Wassersäule gleich, deren Höhe $x + h + \acute{B}\frac{c^2}{4g}$, und deren Grundfläche $W - r$ ist.

Dabey ist x die Entfernung des Kolben vom Aufsatzrohr;

h die Höhe der Aufsatzröhre,

c die Geschwindigkeit des Kolben,

W dessen Oberfläche,

r der Querschnitt der Kolbenstange,

$\acute{B}$ der Koeffizient des hydraulischen Widerstandes, welcher nach §. 47. bestimmt wird.

§. 121.

§. 121. Eben so ist der Widerstand, welchen das unter dem Kolben befindliche Wasser verursacht, im Beharrungsstande,

$$W\left(1+\beta-x+B\cdot\frac{c^2}{4g}\right)$$

wo l die saigere Länge des Saugrohrs, β die Höhe des Kolbenrohrs, und B den oben für die Saugwerke bestimmten Koeffizienten des hydraulischen Widerstandes §. 69. anzeigt. Man hat daher, wenn die ganze Höhe des Satzes vom Sumpfe bis zum Ausguß H heißt, die zur Bewegung des Kolben erforderliche Kraft, für den Beharrungsstand, allgemein

$$P=W\left[H+\frac{c^2}{4g}\left(B+\acute{B}\right)\right].$$

§. 122. Mit Rücksicht auf das wegen der Trägheit der in Bewegung gesezten Massen erforderlichen Uebergewichtes findet man bey einem hohen Satze

$$P=W\left[H+\frac{B+\acute{B}}{4gt^2}\left(b+1{,}39\cdot\frac{v}{B+\acute{B}}\right)^2+\rho\right]$$

oder genauer

$$P=W\left[H+\frac{v^2}{gt^2(B+\acute{B})}\left(\log n.\left[E^{\frac{b}{2v}(B+\acute{B})}+\sqrt{\left(E^{\frac{b}{v}(B+\acute{B})}-1\right)}\right]\right)^2+\rho\right].$$

wobey die Buchstaben t, b, v und ρ die im vorhergehenden Kapitel angenommene Bedeutung haben.

§. 123. Besondere Bestimmung der Grösse v bey einem hohen Satze.

§. 124. Für die vortheilhafteste Anordnung eines vereinbarten Saug- und Hebwerks, wobey nämlich das zur Bewegung des Kolben erforderliche Uebergewicht ein Kleinstes wird, muß

$$B+\acute{B}=1{,}39\cdot\frac{v}{b}$$

seyn.

§. 125. Für den Niedergang oder Schub des Kolben finden hier alle jene Sätze und Formeln §§. 70, 82, 83, 114 und 115 Statt, welche wir für die niedern Sätze angegeben haben.

§. 126.

§. 126. Auch gelten alle dortigen Formeln für die Berechnung eines doppelten Saug- und Hebwerks, mit der einzigen Veränderung, daß allenthalben B + B' statt B gesezt wird.

§. 127. Die ganze saigere Höhe eines hohen Kunstsatzes beträgt von 8 bis 18 Lachter, wovon die Höhe des Saugrohrs gemeiniglich nur 3 bis 4 Lachter ist.

§. 128. Beweis, daß die hohen Kunstsätze, bey gleicher Anordnung, einen weit geringern Kraftaufwand erfordern, als die gewöhnlichen Saugwerke, wenn durch beyde dieselbe Wirkung herfürgebracht wird.

§. 129. Gegengründe, warum, dieser auffallenden Vorzüge ungeachtet, die hohen Sätze in Deutschland dennoch abgeschaft, und die niedrigen beynahe auf allen Salinen und Bergwerken eingeführt worden sind.

§. 130. Bey einer zweckmäßigen Anordnung können alle gegen die hohen Sätze vorgebrachten Einwürfe vermieden, und mit der mechanischen Vollkommenheit derselben auch alle praktischen Vortheile und Bequemlichkeiten der gewöhnlichen Saugwerke vereinbart werden.

Dreyzehntes Kapitel.

Beschreibung der in England üblichen hohen Kunstsätze.

§. 131. An den englischen Pumpen sind alle Theile von Gußeisen, auch sind dort die niedern Sätze gänzlich abgeschaft, und durchaus nur hohe Sätze von 60 zu 120 Fuß saiger eingeführt.

§. 132. Die Saugröhren sind nur 12 bis 13 Fuß lang, und von gleicher oder nur wenig geringerer Weite mit dem Kolbenrohr.

§. 133. Das Ventil kann sehr bequem durch eine seitwärts angebrachte, mit einer eisernen Platte verschlossene, Oefnung (the Clackdoor) heraus geholt und wieder hinein gesezt werden.

§. 134. In dem mit der größten Genauigkeit ausgebohrten Kolbenrohr spielt der Kolben mit einem Hube von 9 bis 12 Fuß Länge.

§. 135. Beym Liedern darf man den Kolben nicht durch die Aufsatzröhren herausziehen, sondern kann solchen durch eine gleich über dem Stiefel angebrachte Oefnung (the Bucketdoor) seitwärts heraus nehmen. Die Aufsatzröhren sind durchaus weiter als der Stiefel.

§. 136. Diese Pumpen äussern ihre Wirkung mehr durch Heben als durch Ansaugen. Vortheile dieser Einrichtung.

§. 137. Nähere Beschreibung des Kolbenstockes, und des darauf befestigten doppelten Klappenventiles.

§. 138. Verbindung des Kolbens mit seiner Stange.

§. 139—140. Die Liederung besteht aus einer um den Kolbenstock gelegten oben auswärts sich beugenden Kappe von starkem Rindleder. Die Reibung ist hierbey, selbst wenn die drückende Wassersäule sehr hoch ist, ganz unbeträchtlich.

§. 141. Verbindung der kurzen Kolbenstange mit der Zugstange.

§. 142. Die Einrichtung und Form des Ventiles ist nur wenig von jener des Kolben verschieden.

§ 143. Bey einigen Wasserkünsten bedient man sich in England mit Vortheil auch ganz metallner nach der Weite der Stiefel genau abgedrehter zylindrischer Kolben ohne allem Leder, und eben solcher (eingeriebener) Ventile.

§. 144. Anordnung einer englischen Saugpumpe bey einer geringen Höhe.

§. 145. Besonders vortheilhafte Einrichtung der Kolben und Ventile bey sehr grossen Pumpen von 20 bis 36 Zollen im Durchmesser.

§. 146. Die Thüren, durch welche man zu den Ventilen und Kolben gelangt, können, statt einer eisernen Platte, auch mit einem hölzernen Klotze verschlossen werden.

§. 147. Beschreibung einer von den gewöhnlichen hohen Sätzen etwas verschiedenen Hebpumpe (Liftingpump oder Jackpump genannt) wobey die bewegende Kraft unter der Ausgußstelle, unmittelbar über dem Kolbenrohr, wie bey einem Druckwerk, angebracht werden kann.

§. 148. Zweckmässige und sichere Liederung der durch den Deckel dieser Pumpe sich bewegenden abgedrehten Kolbenstange.

§. 149. Verbindung dieser Kolbenstange mit den übrigen Theilen der Maschine.

§. 150. Vorzüge der leztbeschriebenen Pumpe vor den Druckwerken und den gewöhnlichen Saug- und Hebepumpen.

Vierzehntes Kapitel.

Beschreibung einer an die Stelle eines hohen Kunstsatzes mit Vortheil anwendbaren Saug- und Druckpumpe.

§. 151—154. Diese Pumpe unterscheidet sich von den gewöhnlichen vorzüglich darinn, daß ihr Kolben kein Ventil hat, und in dem umgekehrt gestellten Stiefel von unten aufwärts geschoben wird; daß das Wasser durch die Saugröhre beym Niedergehen des Kolben eingezogen, und beym Steigen desselben durch das Aufsatz- oder Steigrohr ausgedrückt wird.

§. 155. Bestimmung der Länge des Saugrohrs an einer solchen Pumpe.

§. 156. Besondere Vorzüge dieser Pumpe vor den gewöhnlichen hohen Kunstsätzen, indem solche die wesentlichsten Vortheile und praktischen Bequemlichkeiten der gewöhnlichen Saugwerke mit jenen der hohen Sätze und der Druckwerke verbindet.

Funfzehntes Kapitel.

Vorschlag zur Verbesserung der gewöhnlichen hohen Kunstsätze.— Kostenberechnung der zu einer Pumpe erforderlichen Gußwaare.

§. 157—159. Bey der hier empfohlenen Einrichtung kann man zu den Aufsätzen hölzerne Röhren, deren Durchmesser kleiner als jener des Stiefels ist, gebrauchen, und die Liederung oder Auswechselung der Kolben und Ventile mit der größten Schnelligkeit und Bequemlichkeit verrichten, ohne daß ein Theil der Pumpe von dem andern (wie bey den gewöhnlichen hohen Sätzen) los gemacht werden darf.

§. 160. Allgemeine Formel zur vorläufigen Bestimmung des Gewichtes eines von Eisen oder Metall zu giessenden zylindrischen Rohres von gegebenen Abmessungen.

Seite 206. Tafel aus der gegebenen Quadratfläche A einer Röhre ihren Durchmesser D zu finden.

Seite 207. Tafel aus dem gegebenen Durchmesser D den Querschnitt A einer Röhre zu finden.

Erstes

Erstes Kapitel.

Allgemeine Betrachtungen über die Bewegung des Wassers in prismatischen oder zylindrischen Gefäßen.

§. 1.

In einem Lothrecht stehenden zylindrischen oder prismatischen Gefäße ABCD (Fig. 1.) denke man sich eine horizontale Scheibe oder Platte mn ohne Masse, welche an die Seiten des Gefäßes allenthalben vollkommen genau anschließt, und ohne Reibung in demselben auf und nieder bewegt werden kann. Diese Scheibe sey nun an irgend einer Stelle unterstüzt, und über derselben werde Wasser in das Gefäß eingegossen bis zu einer gewissen Höhe kl; so drückt offenbar die Masse kmnl mit ihrem ganzen Gewicht auf die Scheibe. Nennt man die Oberfläche der lezten A, die Höhe der Wassersäule km oder ln = h, so ist der Druck, den die Scheibe im Stand der Ruhe leidet, = Ah, und wenn nunmehr die Stüze von unten weggenommen, und die Scheibe durch eine an ihrem Schwerpunkt angebrachte vertikal aufwärts ziehende Kraft P unbeweglich, d. i. mit der schweren Wassermasse im Gleichgewicht erhalten werden soll, so muß P = Ah seyn.

§. 2.

Wenn man die Geschwindigkeit, die ein frey fallender Körper in der ersten Sekunde erhält, oder die Beschleunigung der Schwere g nennt, so ist die Geschwindigkeit, welche durch den Fall von der Höhe h erhalten wird, oder die der Höhe h zugehörige Geschwindigkeit, nach den Gesetzen der Mechanik, $2\sqrt{gh}$; heißt diese Geschwindigkeit v, so hat man

$$h = \frac{v^2}{4g},$$

folglich

$$P = A.\frac{v^2}{4g}$$

und

$$v = 2\sqrt{\left(g.\frac{P}{A}\right)}.$$

Solchergestalt kann der Druck der schweren Wassermasse k m n l auf die unbewegte Scheibe A als die Wirkung derjenigen Geschwindigkeit betrachtet werden, mit welcher die Wassertheilchen unaufhörlich gegen jeden Punkt ihrer Oberfläche anstossen, und solche niederwärts zu bewegen streben; und auf diese Art läßt sich der blosse hydrostatische Druck durch das hydraulische Moment der Bewegung ausdrücken, welche erfolgen müßte, wenn der Stoß der mit der Geschwindigkeit v beständig anprellenden Wassertheilchen nicht in jedem Augenblicke durch die gleich starke Reaktion der unbeweglichen Platte, oder die Kraft P getilgt würde. In der That müßte auch diese Scheibe, wenn plötzlich die Kraft P zu wirken aufhörte, und kein Widerstand der Trägheit statt fände, in dem ersten Augenblicke sich mit eben dieser Geschwindigkeit v niederwärts bewegen.

§. 3.

So lange nun die Kraft $P = Ah$ bleibt, so sind Druck und Gegendruck einander gleich, folglich kann keine Bewegung statt finden. Man setze aber diese Kraft $= p < Ah$, so erhält die schwere Masse k m n l das Uebergewicht, und es erfolgt eine Bewegung niederwärts, die dem Unterschied dieser beyden Kräfte gemäß ist. Die Wassermasse Ah wirkt nun auf die von ihr niedergedrückte Scheibe eben so, als ob ihr ganzes Gewicht jenem Unterschiede gleich wäre, und die Geschwindigkeit der nun wirklich erfolgenden Bewegung muß daher (im Stande der Beharrung) derjenigen gleich seyn, mit der die Scheibe niedergehen würde, wenn der ganze Druck auf dieselbe $= Ah - p$ wäre, und gar keine Kraft entgegen wirkte. Um demnach diese Geschwindigkeit, welche wir c nennen wollen, zu bestimmen, darf man nur in der obigen Gleichung für v (§. 2.) $Ah - p$ statt P setzen, so erhält man

$$c = 2\sqrt{\left(g\left(h - \frac{p}{A}\right)\right)}$$

daher ist

$$\frac{c^2}{4g} = h - \frac{p}{A}$$

und

$$p = A\left(h - \frac{c^2}{4g}\right)$$

Weil nun p der wirkliche Druck ist, welchen die Wassermasse Ah auf die mit der Geschwindigkeit c niedergehende Scheibe, im Beharrungsstande, ausübt; so erhellet:

daß

daß der Druck auf die niedergehende Scheibe (obgleich das absolute Gewicht der Wassermasse Ah dasselbe bleibt) geringer als auf die unbewegliche sey, — und zwar desto kleiner, je geschwinder die Bewegung ist.

§. 4.

Weil $\frac{v^2}{4g} = h$ so ist auch

$$p = A\left(\frac{v^2}{4g} - \frac{c^2}{4g}\right) = A\left(\frac{v^2 - c^2}{4g}\right).$$

Für den Fall also, daß $c = v$ wäre, d. i. wenn die Scheibe mit der ganzen der Wasserhöhe h zugehörigen Geschwindigkeit niedersänke, würde $p = o$, das heißt: die Scheibe würde von der ihr mit gleicher Geschwindigkeit folgenden Wassermasse gar nicht gedrückt werden, welches auch schon für sich sehr begreiflich ist.

§. 5.

Nimmt man hingegen die an der Scheibe m n angebrachte Kraft $= \Pi > Ah$ an, so muß eine Bewegung aufwärts erfolgen, welche die Wirkung des Uebergewichtes der Kraft Π über das absolute Gewicht der Wassermasse A h ist. Diese Wirkung wird nun eben dieselbe seyn, als ob die Scheibe A von einer Wassermasse, deren Gewicht $= \Pi - Ah$ ist, in entgegengesezter Richtung ohne allen Widerstand niedergedrückt würde. Nennt man daher die Geschwindigkeit der steigenden Scheibe wieder c, und sezt allen Widerstand der Trägheit beyseite, so hat man jezt

$$c = 2\sqrt{\left(g\left(\frac{\Pi}{A} - h\right)\right)}.$$

Folglich $$\frac{c^2}{4g} = \frac{\Pi}{A} - h,$$

und $$\Pi = A\left(h + \frac{c^2}{4g}\right).$$

Der Druck, den die mit der Geschwindigkeit c aufwärts bewegte Scheibe von der zugleich mit ihr gehobenen Wassermasse Ah leidet, ist daher grösser, als auf die unbewegte, und wirklich

lich so groß, als ob solche ruhte, und eine Wassersäule von der Höhe $h + \frac{c^2}{4g}$ auf ihr stünde.

§. 6.

Durch Substitution von $\frac{v^2}{4g}$ statt h wird auf gleiche Art

$$\Pi = A\left(\frac{v^1 + c^2}{4g}\right).$$

Für den Fall also, daß $v = c$ wäre, hätte man

$$\Pi = A.2\frac{v^2}{4g} = A.2h = 2Ah.$$

das heißt: wenn die Scheibe mit der der Wasserhöhe h zugehörigen Geschwindigkeit aufwärts gezogen wird, so ist der Druck auf ihre Oberfläche dem doppelten Gewichte der auf ihr liegenden, mit ihr gehobenen, Wassermasse gleich.

Zweytes Kapitel.

Vom Ausfluß des Wassers durch die Bodenöfnung eines prismatischen oder zylindrischen, beständig voll erhaltenen, Gefäßes.

§. 7.

Es sey ABCD (Fig. 2.) ein hohler Zylinder, oben bey AD mit einem Boden oder Deckel verschlossen, unten bey BC ganz offen, und mn eine horizontale Scheibe, welche in diesen Zylinder so genau passet, daß sie allenthalben vollkommen dicht anschließt, doch ohne alle Reibung in demselben auf und nieder bewegt werden kann. Diese Scheibe denke man sich durch eine an ihrer Achse befestigte unbewegliche Stange unterstüzt, und den Zylinder über derselben in lothrechter Stellung so, daß der ganze Raum AmnD mit Wasser ausgefüllt ist; so ist klar, daß in dieser Lage die Scheibe mn das ganze Gewicht der Wassermasse AmnD zu tragen hat. Der innere Querschnitt des lezten, oder die Oberfläche der Scheibe mn sey A, die Höhe Am = h, das Gewicht des Zylinders = o, der Druck auf die Scheibe = P; so ist P = Ah. Wird nun oben auf dem Deckel AD noch ein lothrecht wirkender Druck, z. B. ein Gewicht Q angebracht, so entsteht auf die oberste Schichte AD eine Pressung, welche sich durch die Masse AmnD von Schichte zu Schichte bis auf die Scheibe mn fortpflanzt, die daher jezt einen Druck P = Ah + Q leidet: und eben so groß muß demnach auch die Gegenwirkung dieser Scheibe seyn, wenn sie dieser doppelten Drückung das Gleichgewicht halten und unbeweglich bleiben soll. Diese Gegenwirkung kann als eine wirkliche Kräft betrachtet werden, welche die Wassermasse AmnD aufwärts zu treiben strebt, und man sieht, daß, vermög derselben, die innere oder untere Fläche des Deckels AD eine Pressung aufwärts leiden muß, welche = Ah + Q − Ah = Q ist.

Wenn die Höhe einer Wassersäule von der Grundfläche A, welche dem Druck Q das Gleichgewicht hält, = x ist, so muß nunmehr Q = Ax seyn. Das heißt: die Oberfläche AD leidet allenthalben eine Pressung aufwärts, welche dem Druck einer Wassersäule von der Höhe x gleich kömmt, und wenn jezt an irgend einer Stelle durch den Deckel AD ein Röhrchen lothrecht eingesteckt würde, so müßte das Wasser aus dem Zylinder in demselben bis zur Höhe x ansteigen.

Nun

Nun stelle man sich vor, daß in dem Deckel AD, (Fig. 3.) ein kleines Loch von der Weite a, welches bisher verstopft gewesen, plötzlich geöfnet werde, so wird sogleich ein Wasserstrahl durch diese Oefnung in lothrechter Richtung mit einer Geschwindigkeit heraus fahren, die sehr bald nach dem Anfange der Bewegung gleichförmig werden, und der Höhe x zugehören wird, indem zu gleicher Zeit, als sich die Wassermasse AmnD durch den Ausfluß aus a vermindert, der ganze Zylinder ABCD mit einer Geschwindigkeit niedersinken wird, welche sich zur Geschwindigkeit des ausströmenden Wasserstrahls verhält, wie der Querschnitt der Oefnung zum Querschnitt des Zylinders. Die Geschwindigkeit des Wasserstrahls in der Oefnung a heisse v, des niedergehenden Zylinders c, so hat man im Beharrungsstande,

$$v = 2\sqrt{gx},$$

$$\text{und } c = v.\frac{a}{A}.$$

Die Kraft Q bringt nun eine doppelte Wirkung herfür, und hat einen doppelten Widerstand zu überwinden; die Reaktion des mit der Geschwindigkeit v ausfahrenden Wasserstrahls auf die Fläche a, und die Reaktion der gepreßten Wassermasse gegen die verminderte Bodenfläche AD, oder A — a; heißt die lezte R, so ist

$$Q = R + ax$$

$$= R + a.\frac{v^2}{4g}.$$

Im Stande der Ruhe wäre nun $R = x(A-a) = \frac{v^2}{4g}(A-a)$; allein da die Fläche AD den mit der Geschwindigkeit v unaufhörlich anprellenden Wassertheilchen noch mit ihrer eigenen Geschwindigkeit c entgegen gedrückt wird, so ist die eigentliche Höhe des Druckes, welchen sie währender Bewegung leidet, $x + \frac{c^2}{4g}$, (§. 5.) Folglich

$$R = \left(A-a\right)\left(x+\frac{c^2}{4g}\right)$$

und

$$Q = \left(A-a\right)\left(x+\frac{c^2}{4g}\right) + ax$$

$$= Ax + \frac{c^2}{4g}\left(A-a\right).$$

Es ist aber $x = \frac{v^2}{4g}$, und $c = v.\frac{a}{A}$,

daher $$Q = A.\frac{v^2}{4g} + \frac{v^2}{4g}\left(\frac{a^2}{A} - \frac{a^3}{A^2}\right)$$

$$= \frac{v^2}{4g}\left(A + \frac{a^2}{A} - \frac{a^3}{A^2}\right)$$

Die unbewegliche Scheibe mn leidet demnach, während der Bewegung, einen Druck

$$P = Ah + \frac{v^2}{4g}\left(A + \frac{a^2}{A} - \frac{a^3}{A^2}\right)$$

wo h in jedem Augenblicke die Höhe der Wassersäule AmnD zwischen der Scheibe, und dem Deckel des Zylinders anzeigt.

§. 8.

Da es nun offenbar in Rücksicht auf die verschiedenen Pressungen, und auf die Geschwindigkeit des durch die Oefnung a ausströmenden Wasserstrahls völlig einerley ist, ob sich der Zylinder ABCD gegen die unbewegliche Scheibe mn mit der Geschwindigkeit c nieder bewegt, oder ob derselbe unbeweglich befestigt ist, und dagegen die Scheibe mit derselben Geschwindigkeit aufwärts gedrückt wird, so bleibt auch in dem lezten Falle der Druck auf $mn = Ah + Q$, und es ist die Kraft, welche erfordert wird, diese Scheibe in dem unbeweglichen Zylinder aufwärts zu schieben, in jedem Augenblicke

$$P = Ah + \frac{v^2}{4g}\left(A + \frac{a^2}{A} - \frac{a^3}{A^2}\right).$$

§. 9.

Man weiß, daß die Rückwirkung eines mit einer bestimmten Geschwindigkeit aus einer kleinen Oefnung lothrecht empor steigenden Wasserstrahls gegen die Fläche der Oefnung nicht von dem hydrostatischen Druck oder dem Gewichte der ausser oder über derselben befindlichen Wassermasse, welche den Strahl bildet, sondern lediglich von dem hydraulischen Momente des Stoßes der ausfahrenden Wassertheilchen herrührt, und daher bey jeder möglichen Richtung des Strahls dieselbe bleibt, so lange

die

die Ausströmungsgeschwindigkeit desselben nicht verändert wird. Der Werth von ax, und die gleichfalls von x abhangende Grösse R wird also keine Veränderung leiden, wenn der Zylinder ABCD ganz umgekehrt wird, wie in der vierten Figur, so daß die bewegliche Scheibe mn von oben herab mit derselben Geschwindigkeit c niedergedrückt wird, und das Wasser aus dem Zylinder durch die Oefnung a mit derselben Geschwindigkeit v nach entgegengesezter Richtung ausströmt. Doch hat in diesem Falle die von oben auf die Scheibe senkrecht nieder wirkende Kraft P das Gewicht der Wassermasse Ah nicht mehr zu tragen, welches ihr jezt vielmehr zu Hilfe kömmt, und es wird daher

$$P = Q - Ah = R + ax - Ah$$
$$= \frac{v^2}{4g}\left(A + \frac{a^2}{A} - \frac{a^3}{A^2}\right) - Ah,$$

vorausgesezt, daß die Scheibe selbst ohne alles Gewicht sey.

§. 10.

Nimmt man izt die Scheibe mn, und die Kraft P ganz hinweg, und überläßt die Wassermasse eBCe (Fig. 5.) der Wirkung ihrer eigenen Schwere, so wird $P = 0$,

folglich $$Ah = \frac{v^2}{4g}\left(A + \frac{a^2}{A} - \frac{a^3}{A^2}\right)$$

und $$h = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right).$$

Wenn man nun eine solche Einrichtung trift, daß der Verlust des durch die Bodenöfnung abfliessenden Wassers durch einen gleichen Zufluß von oben ersezt wird, so bleibt der Werth von h unverändert, und die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers beständig

$$v = 2\sqrt{\left(g \cdot \frac{h}{1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}}\right)}.$$

§. 11.

Aus der lezt gefundenen Gleichung erhellet, daß die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser durch die Bodenöfnung eines Gefäßes ausläuft, nie der ganzen Höhe

der

der über derselben stehenden Wassersäule zugehören kann, sondern für jeden begränzten Werth von A allemal etwas kleiner als $2\sqrt{gh}$ seyn muß, und daß der Unterschied desto beträchtlicher wird, je weiter die Oefnung im Verhältniß zur Weite des Gefäßes ist. Wird dieses Verhältniß so klein, daß man den Bruch $\frac{a^2}{A^2}$ als ganz unbedeutend vernachlässigen darf, so kann auch die Ausströmungsgeschwindigkeit in der That nicht merklich kleiner als $2\sqrt{gh}$ seyn; doch kann sie im strengsten Sinne nur dann der ganzen Wasserhöhe h zugehören, wenn die Weite des Gefäßes unendlich groß, oder wenn die Weite der Oefnung der Weite des Gefäßes gleich ist: denn in beyden Fällen wird der Divisor

$$1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3} = 1,$$

mithin $v = 2\sqrt{gh}$.

Anmerkung. Meine Grundformel $\frac{v^2}{4g} = \frac{h}{1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}}$ welche aus sehr einfachen Betrachtungen hergeleitet ist, scheint mit der Erfahrung sehr gut überein zu stimmen, und thut allen möglichen Fällen für jeden Werth von $\frac{a}{A}$ Genüge, da die von andern Hydraulikern angegebenen Grundformeln auf ganz ungereimte Resultate führen. Jene des Herrn Bernoulli, $\frac{v^2}{4g} = h.\frac{A^2}{A^2 - a^2}$, welche von den meisten Schriftstellern nach ihm zur Grundlage ihrer Theorien angenommen worden ist, giebt die Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers für jeden endlichen Werth von A grösser als $2\sqrt{gh}$, und zwar, bey einerley Höhe des Wasserdrucks, desto grösser, je grösser die Weite der Bodenöfnung im Verhältniß zur Weite des Gefässes ist, so daß z. B. für $a = \frac{1}{2} A$ die Geschwindigkeit v schon einer Höhe $\frac{4}{3} h$ zugehören, und für $a = A$, d. i. für ein gleich weites Gefäß ohne Boden, unendlich groß seyn müßte, welches doch offenbar falsch ist. — Die Formel des Herrn Bernard, $\frac{v^2}{4g} = h.\frac{A^2}{A^2 + a^2}$ ist zwar auf Gefäße mit kleinen Oefnungen passender, allein für $a = A$ giebt sie die Geschwindigkeit v nur der halben Wasserhöhe zuständig, da sie doch in diesem Falle, im ersten Augenblicke, offenbar der ganzen Höhe zugehören muß. Beyde Formeln sind daher, als allgemeine Grundformeln betrachtet (sie mögen nun durch die feinsten Kunstgriffe aus der Analysis des Unendlichen

hergeleitet, oder durch blosses Raisonnement auf was immer für eine Art entstanden seyn) ganz unrichtig und unbrauchbar, da sie in der Anwendung nur für den einzigen Fall, da a gegen A als unendlich klein angesehen werden kann, mit der Erfahrung, folglich mit der Wahrheit, übereinstimmen.

§. 12.

Wenn das Wasser nicht unmittelbar aus der Bodenöfnung, sondern durch eine an derselben lothrecht angesezte gleich weite Röhre mnop (Fig. 6.) ausfließt, so fällt für sich auf, daß die Rückwirkung des durch die Mündung mp aus dem Gefäße strömenden Wasserstrahls auf die in demselben enthaltene Wassermasse durch das Gewicht der in der Röhre befindlichen Wassersäule zum Theil gehoben werden müsse, und daß folglich, um einerley Ausflußgeschwindigkeit zu erhalten, in diesem Fall eine kleinere Wasserhöhe im Gefäß erfordert werde, als bey einer Oefnung im Boden ohne Ansatzrohr. Es sey die (durchaus gleiche) Weite dieser Röhre und der Bodenöfnung mp=a, die Länge derselben mn=l, die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser in die Mündung mp eintritt, sich durch das ganze Rohr bewegt, und durch die Oefnung no ausfließt, = v, so ist die eigentliche Rückwirkung gegen mp nunmehr

$$a\,x = a\left(\frac{v^2}{4g} - l\right) \text{ statt } a.\frac{v^2}{4g} \quad (\S\ 7.)$$

$$\text{und } x = \frac{v^2}{4g} - l.$$

Folglich auch die Rückwirkung der Bodenfläche BC

$$\text{oder } R = \left(A - a\right)\left(\frac{v^2}{4g} - l + \frac{c^2}{4g}\right)$$

Weil nun $Ah = R + a\,x$ ist (§ 7), so wird

$$Ah = \left(A - a\right)\left(\frac{v^2}{4g} - l + \frac{c^2}{4g}\right) + a\left(\frac{v^2}{4g} - l\right)$$

$$= A.\frac{v^2}{4g} - Al + \frac{c^2}{4g}\left(A - a\right)$$

$$\text{also } h = \frac{v^2}{4g} - l + \frac{c^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{A}\right)$$

$$h + l = \frac{v^2}{4g} + \frac{c^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{A}\right)$$

$$= \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right)$$

Folglich

$$v = 2\sqrt{\left(g \cdot \frac{h+l}{1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}}\right)}.$$

Die Geschwindigkeit des durch diese Röhre abfliessenden Wassers ist demnach (insofern kein andrer Widerstand dabey in Rechnung kömmt) eben so groß, als diejenige, mit welcher dasselbe durch die Oefnung m p frey ausströmen würde, wenn die Höhe des Wasserstandes im Gefäße ABCD = h + l, und gar keine Ansatzröhre vorhanden wäre.

§. 13.

Aufgabe. Das zylindrische Gefäß BCDE (Fig. 7.) hat in seinem Boden CD eine Oefnung von der Weite a, und steht oben mit einem weitern Gefässe MNOP in Verbindung, welches beständig auf die Höhe h mit Wasser angefüllt bleibt; die Weite des lezten ist A, des ersten W, und seine Höhe BC = l, man sucht die Ausflußgeschwindigkeit v durch die Oefnung a.

Auflösung. Wenn man den Druck des im obern Gefässe enthaltenen Wassers auf den obersten Querschnitt BE der in BCDE enthaltenen Wassermasse = P, die Reaktion der Bodenfläche CD = R, und die der Ausflußgeschwindigkeit durch a zukommende Höhe = x sezt, so hat man hier

$$P + Wl = R + ax.$$

Heißt

Heißt die Geschwindigkeit der im untern Gefäße sinkenden Wasserschichten c, so ist die eigentliche Druckhöhe auf den Boden CD, $= x + \frac{c^2}{4g} = \frac{v^2}{4g} + \frac{c^2}{4g}$, und

$$R = \left(W - a \right)\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{c^2}{4g} \right) \quad \text{daher}$$

$$P + W1 = \left(W - a \right)\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{c^2}{4g} \right) + a. \frac{v^2}{4g}$$

$$= W. \frac{v^2}{4g} + \frac{c^2}{4g}\left(W - a \right)$$

$$= W. \frac{v^2}{4g} + \frac{v^2}{4g}\left(W - a \right)\frac{a^2}{W^2}$$

$$P + W1 = \frac{v^2}{4g}\left(W + \frac{a^2}{W} - \frac{a^3}{W^2} \right)$$

$$\text{also } \frac{P}{W} + 1 = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^3}{W^3} \right) \text{ h}$$

Nennt man die Höhe des Druckes, welchen die Fläche BE, als die Bodenöfnung des obern Gefäßes, von der in demselben enthaltenen Wassermasse leidet, y, so muß $P = W y$, also $\frac{P}{W} = y$ seyn. Ist ferner die Geschwindigkeit der in dem obern Gefässe, währendem Auslaufen des Wassers durch a niedersinkenden Wasserschichten $= u$, und die Reaktion der Bodenfläche $NO = R'$, so ist (nach §. 7.)

$$Ah = R' + Wy$$

$$= \left(A - M \right)\left(y + \frac{u^2}{4g} \right) + Wy$$

$$= Ay + \frac{u^2}{4g}\left(A - W \right)$$

$$\text{also } y = h - \frac{u^2}{4g}\left(1 - \frac{W}{A} \right)$$

$$= h - \frac{v^2}{4g}\left(1 - \frac{W}{A} \right)\frac{a^2}{A^2}$$

$$= h - \frac{v^2}{4g}\left(\frac{a^2}{A^2} - \frac{a^2 W}{A^3} \right)$$

Sezt man diesen Werth von y in die obige Gleichung (h,) statt $\frac{P}{W}$, so erhält man

$$h - \frac{v^2}{4g}\left(\frac{a^2}{A^2} - \frac{a^2 W}{A^3}\right) + l = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^3}{W^3}\right)$$

und $$h + l = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^3}{W^3} + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^2 W}{A^3}\right)$$

daher

$$v = \frac{2\sqrt{(g.(h+l))}}{\sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^3}{W^3} + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^2 W}{A^3}\right)}}$$

§. 14.

Sezt man in der lezten Gleichung $a = W$, so hat man ein Gefäß mit einer Ansatzröhre von gleicher Weite mit der Bodenöfnung, und es wird

$$v = \frac{2\sqrt{(g\,(h+l))}}{\sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right)}}$$

wie wir schon oben (§. 12.) für diesen Fall gefunden haben.

Sezt man hingegen $W = A$, und die ganze Wasserhöhe $h + l = H$, so hat man ein gleichweites Gefäß mit einer Bodenöfnung, und es verwandelt sich die lezte Gleichung in die erste Grundformel

$$v = \frac{2\sqrt{g\,H}}{\sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right)}}$$

Drittes Kapitel.

Vom Ausfluß des Wassers, welches durch mehrere aufeinander folgende Oefnungen fließt.

§. 15.

In dem lothrecht stehenden Zylinder ABCD (Fig. 8.) welcher unten mit einem Boden o p verschlossen, oben aber ganz offen ist, denke man sich eine ohne alle Reibung bewegliche, vollkommen dichte, nicht schwere Scheibe m n, in deren Mitte eine Oefnung von der Weite φ angebracht ist. Der Raum zwischen dieser Scheibe und dem Boden o p sey ganz mit Wasser ausgefüllt, und über derselben stehe solches bis auf die Höhe f k. Die Weite des Zylinders sey W; die senkrechte Entfernung der Scheibe m n vom Boden, oder m o sey $= l$, und die Höhe des Wasserspiegels f k über derselben, oder f m $=$ h, so ist die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus dem obern Raume durch die Oefnung φ abfliessen würde, wenn der untere Raum m o p n Wasserleer wäre,

$$v = \frac{2\sqrt{gh}}{\sqrt{\left(1 + \frac{\varphi^2}{W^2} - \frac{\varphi^3}{W^3}\right)}}$$

Wird nun die Scheibe m n mit einer Geschwindigkeit $c = v.\frac{\varphi}{W}$ durch eine Kraft Q aufwärts gezogen, so tritt das Wasser, vermöge seiner eigenen Schwere, aus dem obern Raume durch die Oefnung φ unter die Scheibe, und füllt in jedem Augenblicke den Raum aus, welcher zwischen der Wasserfläche m n, und der steigenden Scheibe leer zurück bleiben würde, wenn die Oefnung φ währender Bewegung verstopft wäre.

Da nunmehr der ganze Druck der Wassermasse f m n k oder W h theils von der Scheibe m n getragen, theils auf die Ueberwindung der Reaktion des durch φ ausströmenden Wasserstrals, und die Ausfüllung des unter der Scheibe entstehenden

Raumes

Raumes verwendet wird, so ist klar, daß, während der Bewegung, die Masse W h auf die unter der Scheibe befindliche Wassermasse W l, folglich auch auf den Boden o p, gar keinen Druck ausübt, und daß daher dieser lezte keine andere Pressung leidet, als die, welche von dem Gewichte der auf ihm ruhenden Wassermasse m o p n oder W l entsteht. Heißt diese Pressung P, so ist in jedem Augenblicke

$$P = W\,l.$$

Weil es nun in jeder Rücksicht vollkommen einerley ist, ob die Scheibe m n mit der Geschwindigkeit c aufwärts gezogen werde, oder ob diese an ihrer Stelle unbeweglich feste gemacht sey, und dagegen der Boden o p mit eben dieser Geschwindigkeit niedersinke, so erhellet, daß auch in diesem lezten Falle die Scheibe o p einen Druck leiden müsse, der dem Gewichte der Wassermasse W l gleich ist, oder, was einerley ist, daß die mit der Geschwindigkeit c niedergehende Wassermasse m o p n noch einen Widerstand $P = W\,l$ überwinden könne.

§. 16.

Nun setze man, die Scheibe m n werde in dem unbeweglichen Zylinder A B C D mit einer Geschwindigkeit $C > v.\frac{\phi}{W}$ aufgezogen, so wäre, wenn die Geschwindigkeit des durch ϕ strömenden Wassers immer nur $v = \frac{2\sqrt{g\,h}}{\sqrt{\left(1+\frac{\phi^2}{W^2}-\frac{\phi^3}{W^3}\right)}}$ bliebe, der unter der Scheibe in einer bestimmten Zeit entstehende Raum grösser, als die in derselben Zeit von oben eintretende Wassermenge, und es entstünde daher ein vollkommenes Vacuum, wenn nicht die auf den Wasserspiegel f k drückende Atmosphäre dem Druck der Wassermasse W h zu Hilfe käme, und die Geschwindigkeit des durch ϕ überströmenden Wassers so stark beschleunigte, daß der unter der Scheibe m n entstehende Raum in jedem Augenblicke mit Wasser ausgefüllt wird. Die (vermehrte) Geschwindigkeit in ϕ sey izt $= m$; und z die Höhe einer Wassersäule, welche dem nunmehr hinzukommenden Luftdrucke (eigentlich Uebergewicht der Athmosphäre) das Gleichgewicht hält; so muß

$$\frac{m^2}{4g} = \frac{h+z}{1+\frac{\phi^2}{W^2}-\frac{\phi^3}{W^3}},$$

$$\text{also } z = \frac{m^2}{4g}\left(1+\frac{\phi^2}{W^2}-\frac{\phi^3}{W^3}\right)-h \text{ seyn.}$$

Da

Da nunmehr das Wasser aus dem obern Theile des Zylinders in den unter der Scheibe mn befindlichen Raum nicht blos durch den Druck der Wassersäule h allein durch die Oefnung φ getrieben, sondern zum Theil von unten eingezogen, oder eingesaugt wird, so leidet offenbar die oberste, unmittelbar mit der untern Fläche der Scheibe in Berührung stehende Wasserschichte mn eine negative Pressung, oder Suktion, welche dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe $z + \frac{c^2}{4g}$ das Gleichgewicht hält, weil sich die Scheibe mit der Geschwindigkeit c nach entgegengesezter Richtung bewegt. Diese Suktion, welche wir S nennen wollen, wirkt nun auf die ganze Wassermasse mopn von Schichte zu Schichte so, daß sie solche zum Theil an sich hält oder trägt, und daß also der Boden op nicht mehr von der ganzen Last W l gedrückt werden kann. Man kann sich daher (weil die Rückwirkung einer vom Wasser berührten festen Fläche allemal der Pressung gleich ist) die Sache füglich so vorstellen, als ob die untere Fläche mn, oder W — φ auf die Wassermasse W l eine negative Rückwirkung ausübte, vermöge welcher sie solche an sich zu ziehen bestrebt: und obwohl diese Rückwirkung eigentlich nur verminderter Druck der Atmosphäre ist, und daher im luftleeren Raume nie statt haben könnte, so kann man sie doch in der Folge gerade so betrachten, als ob sie durch die Fläche W — φ selbst herfürgebracht wäre, und sie, Kürze halber, Suktion der Fläche W — φ nennen.

§. 17.

Wenn man sich nun vorstellt, daß die Scheibe mn unbeweglich befestigt ist, und dagegen der Boden op mit der Geschwindigkeit C herunter gezogen werden soll, so sieht man, daß hiezu eine Kraft

$$P = S + \varphi z - W l$$

erforderlich sey: denn da der Theil z des Luftdruckes von oben ganz auf die Ueberwindung der vermehrten Rückwirkung des durch φ strömenden Wassers verwendet wird, und folglich nur noch der Ueberrest auf den Boden op wirken kann, so erhält der Gegendruck der Atmosphäre von unten das Uebergewicht, und äussert auf die ganze Fläche op eine Pressung, welche dem Druck einer Wassersäule von der Höhe z gleich kommt. Es ist aber

$$S = \left(W - \varphi\right)\left(z + \frac{C^2}{4g}\right) = Wz + W.\frac{C^2}{4g} - \varphi z - \varphi\frac{C^2}{4g}.$$

Daher

Daher $$P = Wz + \frac{C^2}{4g}\left(W - \right) - Wl,$$

und $$P + Wl = Wz + \frac{C^2}{4g}\left(W - \varphi\right).$$

Verschwindet P, so muß demnach

$$Wl = Wz + \frac{C^2}{4g}\left(W - \varphi\right)$$

oder $$l = z + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right) \text{ seyn.}$$

Das heißt: wenn die Wassersäule mopn durch ihre eigene Schwere die Suktion der unbeweglichen Fläche mn überwinden, das Wasser aus fmnk mit einer grössern Geschwindigkeit, als die blosse Druckhöhe h zu bewirken fähig ist, einsaugen, und sich noch mit der Geschwindigkeit C niederwärts bewegen soll, so muß ihre Höhe mo, oder $l = z + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right)$ seyn.

§. 18.

Denkt man sich nun den mit Wasser angefüllten Zylinder ABCD (Fig. 9.) unten offen, und in eine unbegränzte ruhige Wasserfläche s s eingetaucht, so wird, unter diesen Bedingungen, wenn nämlich $ms = l = z + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right)$ ist, das Wasser durch φ mit der Geschwindigkeit m, durch BC aber mit der Geschwindigkeit $C = m.\frac{\varphi}{W}$ abfliessen.

Weil nun $z = \frac{m^2}{4g}\left(1 + \frac{\varphi^2}{W^2} - \frac{\varphi^3}{W^3}\right) - h$ ist, (§. 16.) so wird, wenn man diesen Ausdruck statt z in die lezte Gleichung sezt,

$$l = \frac{m^2}{4g}\left(1 + \frac{\varphi^2}{W^2} - \frac{\varphi^3}{W^3}\right) - h + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right).$$

Es ist aber $C = m.\frac{\varphi}{W}$, daher

$$l + h = \frac{m^2}{4g}\left(1 + 2\frac{\varphi^2}{W^2} - 2\frac{\varphi^3}{W^3}\right)$$

$$\text{und} \quad m = \frac{2\sqrt{(g(h+l))}}{\sqrt{\left(1+2\frac{\varphi^2}{W^2}-2\frac{\varphi^3}{W^3}\right)}}$$

Sucht man die Geschwindigkeit C, mit welcher das Wasser durch den Zylinder m B C n abfließt, so ergiebt sich

$$C = m.\frac{\varphi}{W} = \frac{2\sqrt{(g(h+l))}}{\sqrt{\left(2+\frac{W^2}{\varphi^2}-2\frac{\varphi}{W}\right)}}$$

und man sieht, daß es für beyde Geschwindigkeiten vollkommen gleichgiltig ist, in welcher Höhe die Scheidewand m n angebracht sey, da solche ganz allein durch die Summe beyder Höhen h und l, oder die ganze Wasserhöhe f s bestimmt werden.

§. 19.

Wenn die Weite des obern Gefässes A B C D (Fig. 10.) $= A > W$ ist, so ist der eigentliche Druck auf die Oefnung φ, oder $\frac{m^2}{4g} = \frac{h+z}{1+\frac{\varphi^2}{A^2}-\frac{\varphi^3}{A^3}}$,

$$\text{Folglich} \quad z = \frac{m^2}{4g}\left(1+\frac{\varphi^2}{A^2}-\frac{\varphi^3}{A^3}\right) - h, \text{ und}$$

$$h+l = \frac{m^2}{4g}\left(1+\frac{\varphi^2}{A^2}-\frac{\varphi^3}{A^3}\right)+\frac{C^2}{4g}\left(1-\frac{\varphi}{W}\right)$$

$$= \frac{m^2}{4g}\left(1+\frac{\varphi^2}{A^2}-\frac{\varphi^3}{A^3}+\frac{\varphi^2}{W^2}-\frac{\varphi^3}{W^3}\right)$$

$$= \frac{C^2}{4g}\left(1+\frac{W^2}{\varphi^2}-\frac{\varphi}{W}+\frac{W^2}{A^2}-\frac{W^2\varphi}{A^3}\right)$$

$$\text{daher} \quad m = \frac{2\sqrt{(g(h+l))}}{\sqrt{\left(1+\frac{\varphi^2}{A^2}-\frac{\varphi^3}{A^3}+\frac{\varphi^2}{W^2}-\frac{\varphi^3}{W^3}\right)}}$$

$$\text{und} \quad c = \frac{2\sqrt{(g(h+l))}}{\sqrt{\left(1+\frac{W^2}{A^2}-\frac{W^2\varphi}{A^3}+\frac{W^2}{\varphi^2}-\frac{\varphi}{W}\right)}}$$

§. 20.

Sezt man in den beyden lezten Gleichungen $W = \varphi$, so hat man ein Gefäß mit einer gleichweiten Ansatzröhre, und es wird

$$m = C = \frac{2\sqrt{(g\,(h+l))}}{\sqrt{\left(1+\frac{\varphi^2}{A^2}-\frac{\varphi^3}{A^3}\right)}}$$

Dieselbe Formel, welche wir schon oben (§. 12.) für diesen Fall gefunden haben.

§. 21.

Aufgabe. Das zylindrische Gefäß mnop (Fig. 11.) ist unten mit einem Boden verschlossen, in welchem eine Oefnung von der Weite a sich befindet; die Höhe dieses Gefäßes mn ist l, die Weite desselben W; die Weite des obern Gefässes ABCD ist A, die Weite der Oefnung im Boden desselben φ; man sucht die Geschwindigkeit v, mit welcher das Wasser durch die unterste Oefnung a abläuft, vorausgesezt, daß das oberste Gefäß beständig auf die Höhe h mit Wasser angefüllt erhalten werde.

Auflösung. Nennt man die der Geschwindigkeit des durch a ausströmenden Wassers zuständige Höhe x, und die Reaktion des Bodens no, R, so ist klar, daß, wenn das Gefäß oben bey mp ganz offen und frey wäre, die Wassersäule Wl ganz auf die Ueberwindung dieser beyden Reaktionen verwendet würde, und es wäre $Wl = R + ax$ (§. 7.) Da aber nunmehr ein Theil der Wassersäule Wl bloß zur Ueberwindung der Suktion der Fläche mp, und zum Einsaugen des Wassers durch φ verbraucht wird, so bleibt für den Druck nach unten nur noch der Ueberrest; heißt jener Theil Wy, so hat man

$$Wl - Wy = W(l-y) = R + ax.$$

Weil indessen die Masse Wy nach überwundenem Widerstande $s + \varphi z$ (§. 17.) für sich selbst schon mit der Geschwindigkeit C nieder zu sinken vermag,

und

und also zur Herfürbringung dieser Bewegung keine neue Kraft erfordert wird, so muß man

$$W\,(1-y) = R + a\,x - W.\frac{C^2}{4g}$$

setzen. Nun ist aber

$$R + ax = \left(W - a\right)\left(x + \frac{c^2}{4g}\right) + a\,x$$

$$= W\,x + \frac{C^2}{4g}\left(W - a\right),$$

also $$W\left(1 - y\right) = W\,x - a.\frac{C^2}{4g},$$

und $$1 - y = x - \frac{a}{W}.\frac{C^2}{4g}.$$

Heißt die Durchflußgeschwindigkeit in φ wieder m, so ist hier y, was im § 18, 1 war, das heißt:

$$y = \frac{m^2}{4g}\left(1 + \frac{\varphi^2}{A^2} - \frac{\varphi^3}{A^3}\right) - h + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right)$$

Folglich

$$1 - \frac{m^2}{4g}\left(1 + \frac{\varphi^2}{A^2} - \frac{\varphi^3}{A^3}\right) + h - \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right) = x - \frac{C^2}{4g}.\frac{a}{W},$$

allein $$x \text{ ist} = \frac{v^2}{4g},$$

$$m = v.\frac{a}{\varphi},$$

und $$C = v.\frac{a}{W},$$

daher wird

$$1 + h = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{\varphi^2} + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^2\varphi}{A^3} + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^2\varphi}{W^3} - \frac{a^3}{W^3}\right)$$

und

$$v = \frac{2\sqrt{\left(g\,(h+1)\right)}}{\sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{\varphi^2} + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^2\varphi}{A^3} + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^2\varphi}{W^3} - \frac{a^3}{W^3}\right)}}.$$

§. 22.

§. 22.

Sind die Durchfluß- und Ausflußöfnung beyde von gleicher Weite, oder $\varphi = a$, so wird nach der lezten Gleichung

$$v = \frac{2\sqrt{(g\,(h+l))}}{\sqrt{\left(2+\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^3}{A^3}+\frac{a^2}{W^2}-2\frac{a^3}{W^3}\right)}}$$

Ist auch $W = a$, so verwandelt sich dieselbe Formel wieder in

$$v = \frac{2\sqrt{(g\,(h+l))}}{\sqrt{\left(1+\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^3}{A^3}\right)}}$$

wie sichs für diesen Fall, mit einer gleichweiten Ansatzröhre, gehört (§ 12).

§. 23.

Sezt man $W = A$, so hat man ein gleichweites Gefäß ABCD (Fig. 12.) mit einer wagrechten durchlochten Scheidewand mn, wobey h die Höhe Am des Wasserspiegels über der Scheidewand, und l den Abstand mB derselben vom Boden anzeigt, und es verwandelt sich obige Gleichung (§. 21.) in

$$v = \frac{2\sqrt{(g\,(h+l))}}{\sqrt{\left(1+\frac{a^2}{\varphi^2}+2\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^3}{A^3}-2\frac{a^2\varphi}{A^3}\right)}}$$

Ist auch $\varphi = a$, so ergiebt sich

$$v = \frac{2\sqrt{(g\,(h+l))}}{\sqrt{\left(2+2\frac{a^2}{A^2}-3\frac{a^3}{A^3}\right)}}$$

und man sieht, daß es übrigens vollkommen gleichgiltig ist, in welcher Höhe die Scheidewand mn zwischen dem Boden, und dem Wasserspiegel sich befindet.

§. 24.

§. 24.

Aufgabe. Unter dem prismatischen Gefäße ABCD (Fig. 13.) von der Weite A ist ein anders zylindrisches oder prismatisches Gefäß mnop von der Weite W, und Länge l, und unter diesem ein drittes cdef von der Weite ω und Länge q angebracht. Alle diese Gefäße sind mit Wasser angefüllt, welches aus dem ersten durch die Oefnung φ in das zweyte, aus diesem durch die Oefnung a in das dritte überströmt, und aus dem lezten durch die Bodenöfnung α ausläuft. Man sucht die Geschwindigkeit dieses Ausflusses v, wenn die Wasserhöhe im obern Gefäße beständig = h erhalten wird.

Auflösung. Heißt derjenige Theil der Höhe cd oder q, welcher auf die Suktion der Fläche cf und das Einsaugen des Wassers durch die Oefnung a verwendet wird, z, die der Ausflußgeschwindigkeit durch die Bodenöfnung α zukommende Höhe x, und die Geschwindigkeit der im untersten Gefäße sinkenden Wasserschichten u, so ist nach (§. 21.)

$$\omega (q - z) = \omega x - \alpha . \frac{u^2}{4g}$$

$$q - z = x - \frac{\alpha}{\omega} \cdot \frac{u^2}{4g} \qquad \text{ħ}$$

Wäre izt das Gefäß mnop oben bey mp ganz offen und frey, so hätte man, wenn die Durchflußgeschwindigkeit durch a = μ ist, (nach §. 21.)

$$z = \frac{\mu^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^3}{W^3}\right) - l + \frac{u^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{\omega}\right)$$

Allein da ein Theil der Wassersäule Wl die Suktion der Fläche mp überwinden, und das Einsaugen durch die Oefnung φ bewirken muß, so kann, wenn dieser Theil Wy ist, statt l nur l — y hier in Rechnung kommen. Insofern aber die Wassermasse Wl schon mit der Geschwindigkeit C niedersinkt, so ist in der lezten Gleichung eigentlich $l - y + \frac{a}{W} \cdot \frac{C^2}{4g}$ anzusetzen. Es kömmt nämlich hier darauf an, die Druckhöhe zu finden, mit welcher das Wasser im Gefäße mnop

auf

auf die Oefnung a, und durch diese auf die Wassermasse cdef wirkt. Heißt diese $\dot{x}$, so ist

$$z + \dot{x} = \frac{\mu^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^3}{W^3}\right) + \frac{u^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{\omega}\right)$$

Nun ist aber offenbar dieses $\dot{x}$ eben das, was oben (§. 21.), da das Wasser durch die Oefnung a frey ausströmte, x war, nämlich die diesem Ausfluß zuständige Höhe.

Also $\dot{x} = 1 - y + \frac{a}{W} \cdot \frac{C^2}{4g}$, daher

$$z + 1 - y + \frac{a}{W} \cdot \frac{C^2}{4g} = \frac{\mu^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^3}{W^3}\right) + \frac{u^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{\omega}\right)$$

$$\text{und } z = \frac{\mu^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^3}{W^3}\right) + \frac{u^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{\omega}\right) - 1 + y - \frac{a}{W} \cdot \frac{C^2}{4g}.$$

Heißt die Geschwindigkeit des durch φ strömenden Wassers wieder m, so ist (§. 21.)

$$y = \frac{m^2}{4g}\left(1 + \frac{\varphi^2}{A^2} - \frac{\varphi^3}{A^3}\right) - h + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right).$$

Man setze nun Kürze halber $1 + \frac{a^2}{W^2} - \frac{a^3}{W^3} = M$, und $1 + \frac{\varphi^2}{A^2} - \frac{\varphi^3}{A^3} = N$, so wird

$$z = \frac{\mu^2}{4g} \cdot M + \frac{u^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{\omega}\right) - 1 + \frac{m^2}{4g} \cdot N - h + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right) - \frac{a}{W} \cdot \frac{C^2}{4g}$$

und dieser Werth für z in die Gleichung (ℏ) gesezt, giebt

$$q - \frac{\mu^2}{4g} \cdot M - \frac{u^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{\omega}\right) + 1 - \frac{m^2}{4g} \cdot N + h - \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W} - \frac{a}{W}\right) =$$

$$x - \frac{\alpha}{\omega} \cdot \frac{u^2}{4g}.$$

also $q + 1 + h$

$$= x + \frac{\mu^2}{4g} \cdot M + \frac{u^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{\omega} - \frac{\alpha}{\omega}\right) + \frac{m^2}{4g} \cdot N + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W} - \frac{a}{W}\right)$$

Nun

Nun iſt $x = \frac{v^2}{4g}$

$$\mu = v. \frac{\alpha}{a}$$

$$u = v. \frac{\alpha}{\omega}$$

$$m = v. \frac{\alpha}{\varphi}$$

und $C = v. \frac{\alpha}{W}$; daher

$$= \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{\alpha^2}{a^2} + \frac{\alpha^2}{\varphi^2} + \frac{\alpha^2}{A^2} - \frac{\alpha^2\varphi}{A^3} + 2\frac{\alpha^2}{W^2} - 2\frac{\alpha^2 a}{W^3} - \frac{\alpha^2\varphi}{W^3} + \frac{\alpha^2}{\varphi^2} - \frac{\alpha^2 a}{\omega^3} - \frac{\alpha^3}{\varphi^3}\right)$$

$q + l + h$

endlich $$v = \frac{2\sqrt{(g\,(h + l + q))}}{\sqrt{\left(1 + \frac{\alpha^2}{a^2} + \frac{\alpha^2}{\varphi^2} + \frac{\alpha^2}{A^2} - \frac{\alpha^2\varphi}{A^3} + 2\frac{\alpha^2}{W^2} - 2\frac{\alpha^2 a}{W^3} - \frac{\alpha^2\varphi}{W^3} + \frac{\alpha^2}{\omega^2} - \frac{\alpha^2 a}{\omega^3} - \frac{\alpha^3}{\omega^3}\right)}}$$

§. 25.

Sezt man $\omega = a = W$, und die ganze Waſſerhöhe $h + l + q = H$, ſo kömmt man auf den Fall (§. 21.) mit zwey übereinander geſezten Gefäßen, und einer Durchflußöfnung φ zurück, und es verwandelt ſich die lezt gefundene Gleichung in

$$v = \frac{2\sqrt{gH}}{\sqrt{\left(1 + \frac{\alpha^2}{W^2} + \frac{\alpha^2}{\varphi^2} + \frac{\alpha^2}{A^2} - \frac{\alpha^2\varphi}{A^3} - \frac{\alpha^3\varphi}{W^3} - \frac{\alpha^3}{W^3}\right)}}$$

welches, mit Veränderung des Buchſtaben a ſtatt α dieſelbe Formel iſt, die wir dort für dieſen Fall gefunden haben.

§. 26.

§. 26.

Sind alle drey Oefnungen von gleicher Weite, oder $a = \alpha = \varphi$, so ergiebt sich (nach §. 24.)

$$v = \frac{2\sqrt{gH}}{\sqrt{\left(3 + \frac{\alpha^2}{A^2} - \frac{\alpha^3}{A^3} + 2\frac{\alpha^2}{W^2} - 3\frac{\alpha^3}{W^3} - \frac{\alpha^2}{\omega^2} - 2\frac{\alpha^3}{\omega^3}\right)}}$$

§. 27.

Ist $\omega = W = A$, so hat man ein gleich weites Gefäß ABCD (Fig. 14.) mit zwoen wagrechten übereinander gesezten durchlochten Scheidewänden mp und no, und obige Formel verwandelt sich in folgende:

$$v = \frac{2\sqrt{gH}}{\sqrt{\left(1 + \frac{\alpha^2}{a^2} + \frac{\alpha^2}{\varphi^2} + 4\frac{\alpha^2}{A^2} - 2\frac{\alpha^2\varphi}{A^3} - 3\frac{\alpha^2 a}{A^3} - \frac{\alpha^3}{A^3}\right)}}$$

Ist auch $\varphi = a = \alpha$, so wird

$$v = \frac{2\sqrt{gH}}{\sqrt{\left(3 + 4\frac{\alpha^2}{A^2} - 6\frac{\alpha^3}{A^3}\right)}}$$

Ueberhaupt wird für diesen Fall, wenn alle Oefnungen in den Scheidewänden gleich groß, und mit der Boden- oder Ausflußöfnung von einerley Weite sind, und die Anzahl der Scheidwände oder Durchflußöfnungen $= n$ ist, allgemein

$$v = \frac{2\sqrt{gH}}{\sqrt{\left(1 + n\left(1 + 2\frac{\alpha^2}{A^2} - 3\frac{\alpha^3}{A^3}\right)\right)}}$$

§. 28.

Wenn übrigens die bisher vorgetragenen Formeln über die Bewegung des Wassers durch mehrere auf einander folgende Oefnungen in der Ausübung anwendbar seyn sollen, so müssen noch zwey Umstände beobachtet werden. Fürs Erste

dürfen die Scheidwände (besonders wenn die Oefnungen in denselben lothrecht übereinander angebracht sind) nicht weniger als 4 bis 5 Zoll von einander entfernt seyn, weil sonst, wenn sie näher aneinander stünden, das Wasser aus der einen Oefnung in die nächstfolgende in einem ununterbrochenen Strahle, gleichsam als in einer Röhre (ohne der übrigen zwischen beyden Scheidwänden befindlichen Wassermasse einige Bewegung mitzutheilen) überströhmen, mithin der Ausfluß nach ganz andern Gesetzen erfolgen würde. Zweytens darf die unterste oder Bodenöfnung nicht mehr als höchstens $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser weit seyn, indem sonst die Luft durch selbe eindringen, und den Raum zwischen der nächsten Scheidwand und der unter derselben sich ausleerenden Wassermasse ausfüllen würde, da dann nach oben keine Einsaugung statt finden könnte, sondern das Wasser durch die Bodenöfnung aus dem untersten Behälter, wie aus einem einfachen oben offenen Gefäße, auslauffen müßte. Oder es muß, um dieses Eindringen der äussern Luft zu verhindern, die Ausflußöfnung selbst ein paar Zolle unter Wasser stehen, wobey aber natürlicherweise die ganze drückende Wasserhöhe H vom Wasserspiegel im obersten Gefäße nicht bis an die Bodenöfnung, sondern nur bis an die Wasserfläche, unter welcher das Wasser ausläuft, in Rechnung zu bringen ist.

Viertes Kapitel.

Zusammenziehung des Wasserstrahls.

§. 29.

Wenn die Voraussetzung, daß währendem Auslaufen des Wassers durch die Oefnung im Boden eines beständig voll erhaltenen zylindrischen oder prismatischen Gefäßes alle horizontalen Schichten der darinn enthaltenen Wassermasse sich mit gleicher Geschwindigkeit gegen den Boden bewegen, vollkommen statt fände, so wären die bisher gefundenen Werthe von v der richtigste Ausdruck für die Geschwindigkeit des ausströmenden Wasserstrahls, und diese in den Querschnitt der Oefnung multiplizirt das genaue Maaß der in einer Sekunde ausfliessenden Wassermenge. Allein da die Geschwindigkeit der untersten zunächst an der Oefnung befindlichen Wassertheilchen nicht plötzlich von c in v übergehen kann, sondern dieser Uebergang vielmehr stuffenweise nach dem Gesetze der Stetigkeit erfolgen muß, so kann auch diejenige Masse Wasser, welche, währendem Auslaufen, im Gefäße wirklich in Bewegung ist, mit der ganzen Wassermasse, welche das Gefäß ausfüllt, nicht völlig einerley seyn, und obige Voraussetzung ist daher nur bis auf eine gewisse Entfernung vom Boden wirklich gegründet, da das ausströmende Wasser nahe über der Oefnung einen trichterförmigen Kanal *) bildet, indem das zu den Seiten und in den Ecken befindliche Wasser vollkommen ruhig bleibt. Die Erfahrung

*) Man kann die Bildung dieses Trichters sehr deutlich in einem grossen gläsernen Zylinder, in dessen Boden eine kleine Oefnung ist, beobachten, wenn man solchen mit Wasser anfüllt, welches eine Menge kleiner Stückgen Siegellak oder andrer Körperchen enthält, deren spezifische Schwere mit der des Wassers ohngefähr einerley ist, da ihre Bewegung auf die Art sichtbar wird, wie die 15te Figur darstellt. Auch bemerkt man auf der Oberfläche des Wassers, wenn solche bis nahe an den Boden niedergesunken ist, eine Delle, die immer sichtbarer und tiefer wird, je mehr das Gefäß sich ausleert, und zulezt einen ordentlichen eingedrückten Trichter bildet.

dürfen die Scheidwände (besonders wenn die Oefnungen in denselben lothrecht übereinander angebracht sind) nicht weniger als 4 bis 5 Zoll von einander entfernt seyn, weil sonst, wenn sie näher aneinander stünden, das Wasser aus der einen Oefnung in die nächstfolgende in einem ununterbrochenen Strahle, gleichsam als in einer Röhre (ohne der übrigen zwischen beyden Scheidwänden befindlichen Wassermasse einige Bewegung mitzutheilen) überströhmen, mithin der Ausfluß nach ganz andern Gesetzen erfolgen würde. Zweytens darf die unterste oder Bodenöfnung nicht mehr als höchstens $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser weit seyn, indem sonst die Luft durch selbe eindringen, und den Raum zwischen der nächsten Scheidwand und der unter derselben sich ausleerenden Wassermasse ausfüllen würde, da dann nach oben keine Einsaugung statt finden könnte, sondern das Wasser durch die Bodenöfnung aus dem untersten Behälter, wie aus einem einfachen oben offenen Gefäße, auslauffen müßte. Oder es muß, um dieses Eindringen der äussern Luft zu verhindern, die Ausflußöfnung selbst ein paar Zolle unter Wasser stehen, wobey aber natürlicherweise die ganze drückende Wasserhöhe H vom Wasserspiegel im obersten Gefäße nicht bis an die Bodenöfnung, sondern nur bis an die Wasserfläche, unter welcher das Wasser ausläuft, in Rechnung zu bringen ist.

Viertes Kapitel.

Zusammenziehung des Wasserstrahls.

§. 29.

Wenn die Voraussetzung, daß währendem Auslaufen des Wassers durch die Oefnung im Boden eines beständig voll erhaltenen zylindrischen oder prismatischen Gefäßes alle horizontalen Schichten der darinn enthaltenen Wassermasse sich mit gleicher Geschwindigkeit gegen den Boden bewegen, vollkommen statt fände, so wären die bisher gefundenen Werthe von v der richtigste Ausdruck für die Geschwindigkeit des ausströmenden Wasserstrahls, und diese in den Querschnitt der Oefnung multiplizirt das genaue Maaß der in einer Sekunde ausfliessenden Wassermenge. Allein da die Geschwindigkeit der untersten zunächst an der Oefnung befindlichen Wassertheilchen nicht plötzlich von c in v übergehen kann, sondern dieser Uebergang vielmehr stuffenweise nach dem Gesetze der Stetigkeit erfolgen muß, so kann auch diejenige Masse Wasser, welche, währendem Auslaufen, im Gefäße wirklich in Bewegung ist, mit der ganzen Wassermasse, welche das Gefäß ausfüllt, nicht völlig einerley seyn, und obige Voraussetzung ist daher nur bis auf eine gewisse Entfernung vom Boden wirklich gegründet, da das ausströmende Wasser nahe über der Oefnung einen trichterförmigen Kanal*) bildet, indem das zu den Seiten und in den Ecken befindliche Wasser vollkommen ruhig bleibt. Die Erfahrung

*) Man kann die Bildung dieses Trichters sehr deutlich in einem grossen gläsernen Zylinder, in dessen Boden eine kleine Oefnung ist, beobachten, wenn man solchen mit Wasser anfüllt, welches eine Menge kleiner Stückgen Siegellak oder andrer Körperchen enthält, deren spezifische Schwere mit der des Wassers ohngefähr einerley ist, da ihre Bewegung auf die Art sichtbar wird, wie die 15te Figur darstellt. Auch bemerkt man auf der Oberfläche des Wassers, wenn solche bis nahe an den Boden niedergesunken ist, eine Delle, die immer sichtbarer und tiefer wird, je mehr das Gefäß sich ausleert, und zulezt einen ordentlichen eingedrückten Trichter bildet.

dürfen die Scheidwände (besonders wenn die Oefnungen in denselben lothrecht übereinander angebracht sind) nicht weniger als 4 bis 5 Zoll von einander entfernt seyn, weil sonst, wenn sie näher aneinander stünden, das Wasser aus der einen Oefnung in die nächstfolgende in einem ununterbrochenen Strahle, gleichsam als in einer Röhre (ohne der übrigen zwischen beyden Scheidwänden befindlichen Wassermasse einige Bewegung mitzutheilen) überströhmen, mithin der Ausfluß nach ganz andern Gesetzen erfolgen würde. Zweytens darf die unterste oder Bodenöfnung nicht mehr als höchstens $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser weit seyn, indem sonst die Luft durch selbe eindringen, und den Raum zwischen der nächsten Scheidwand und der unter derselben sich ausleerenden Wassermasse ausfüllen würde, da dann nach oben keine Einsaugung statt finden könnte, sondern das Wasser durch die Bodenöfnung aus dem untersten Behälter, wie aus einem einfachen oben offenen Gefäße, auslauffen müßte. Oder es muß, um dieses Eindringen der äussern Luft zu verhindern, die Ausflußöfnung selbst ein paar Zolle unter Wasser stehen, wobey aber natürlicherweise die ganze drückende Wasserhöhe H vom Wasserspiegel im obersten Gefäße nicht bis an die Bodenöfnung, sondern nur bis an die Wasserfläche, unter welcher das Wasser ausläuft, in Rechnung zu bringen ist.

Viertes Kapitel.

Zusammenziehung des Wasserstrahls.

§. 29.

Wenn die Voraussetzung, daß währendem Auslaufen des Wassers durch die Oefnung im Boden eines beständig voll erhaltenen zylindrischen oder prismatischen Gefäßes alle horizontalen Schichten der darinn enthaltenen Wassermasse sich mit gleicher Geschwindigkeit gegen den Boden bewegen, vollkommen statt fände, so wären die bisher gefundenen Werthe von v der richtigste Ausdruck für die Geschwindigkeit des ausströmenden Wasserstrahls, und diese in den Querschnitt der Oefnung multiplizirt das genaue Maaß der in einer Sekunde ausfliessenden Wassermenge. Allein da die Geschwindigkeit der untersten zunächst an der Oefnung befindlichen Wassertheilchen nicht plötzlich von c in v übergehen kann, sondern dieser Uebergang vielmehr stuffenweise nach dem Gesetze der Stetigkeit erfolgen muß, so kann auch diejenige Masse Wasser, welche, währendem Auslaufen, im Gefäße wirklich in Bewegung ist, mit der ganzen Wassermasse, welche das Gefäß ausfüllt, nicht völlig einerley seyn, und obige Voraussetzung ist daher nur bis auf eine gewisse Entfernung vom Boden wirklich gegründet, da das ausströmende Wasser nahe über der Oefnung einen trichterförmigen Kanal*) bildet, indem das zu den Seiten und in den Ecken befindliche Wasser vollkommen ruhig bleibt. Die Erfahrung

*) Man kann die Bildung dieses Trichters sehr deutlich in einem grossen gläsernen Zylinder, in dessen Boden eine kleine Oefnung ist, beobachten, wenn man solchen mit Wasser anfüllt, welches eine Menge kleiner Stückgen Siegellak oder andrer Körperchen enthält, deren spezifische Schwere mit der des Wassers ohngefähr einerley ist, da ihre Bewegung auf die Art sichtbar wird, wie die 15te Figur darstellt. Auch bemerkt man auf der Oberfläche des Wassers, wenn solche bis nahe an den Boden niedergesunken ist, eine Delle, die immer sichtbarer und tiefer wird, je mehr das Gefäß sich ausleert, und zulezt einen ordentlichen eingedrückten Trichter bildet.

dürfen die Scheidwände (besonders wenn die Oefnungen in denselben lothrecht übereinander angebracht sind) nicht weniger als 4 bis 5 Zoll von einander entfernt seyn, weil sonst, wenn sie näher aneinander stünden, das Wasser aus der einen Oefnung in die nächstfolgende in einem ununterbrochenen Strahle, gleichsam als in einer Röhre (ohne der übrigen zwischen beyden Scheidwänden befindlichen Wassermasse einige Bewegung mitzutheilen) überströhmen, mithin der Ausfluß nach ganz andern Gesetzen erfolgen würde. Zweytens darf die unterste oder Bodenöfnung nicht mehr als höchstens $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser weit seyn, indem sonst die Luft durch selbe eindringen, und den Raum zwischen der nächsten Scheidwand und der unter derselben sich ausleerenden Wassermasse ausfüllen würde, da dann nach oben keine Einsaugung statt finden könnte, sondern das Wasser durch die Bodenöfnung aus dem untersten Behälter, wie aus einem einfachen oben offenen Gefäße, auslauffen müßte. Oder es muß, um dieses Eindringen der äussern Luft zu verhindern, die Ausflußöfnung selbst ein paar Zolle unter Wasser stehen, wobey aber natürlicherweise die ganze drückende Wasserhöhe H vom Wasserspiegel im obersten Gefäße nicht bis an die Bodenöfnung, sondern nur bis an die Wasserfläche, unter welcher das Wasser ausläuft, in Rechnung zu bringen ist.

Viertes Kapitel.

Zusammenziehung des Wasserstrahls.

§. 29.

Wenn die Voraussetzung, daß währendem Auslaufen des Wassers durch die Oefnung im Boden eines beständig voll erhaltenen zylindrischen oder prismatischen Gefäßes alle horizontalen Schichten der darinn enthaltenen Wassermasse sich mit gleicher Geschwindigkeit gegen den Boden bewegen, vollkommen statt fände, so wären die bisher gefundenen Werthe von v der richtigste Ausdruck für die Geschwindigkeit des ausströmenden Wasserstrahls, und diese in den Querschnitt der Oefnung multiplizirt das genaue Maaß der in einer Sekunde ausfliessenden Wassermenge. Allein da die Geschwindigkeit der untersten zunächst an der Oefnung befindlichen Wassertheilchen nicht plötzlich von c in v übergehen kann, sondern dieser Uebergang vielmehr stuffenweise nach dem Gesetze der Stetigkeit erfolgen muß, so kann auch diejenige Masse Wasser, welche, währendem Auslaufen, im Gefäße wirklich in Bewegung ist, mit der ganzen Wassermasse, welche das Gefäß ausfüllt, nicht völlig einerley seyn, und obige Voraussetzung ist daher nur bis auf eine gewisse Entfernung vom Boden wirklich gegründet, da das ausströmende Wasser nahe über der Oefnung einen trichterförmigen Kanal *) bildet, indem das zu den Seiten und in den Ecken befindliche Wasser vollkommen ruhig bleibt. Die Erfahrung

---

*) Man kann die Bildung dieses Trichters sehr deutlich in einem grossen gläsernen Zylinder, in dessen Boden eine kleine Oefnung ist, beobachten, wenn man solchen mit Wasser anfüllt, welches eine Menge kleiner Stückgen Siegellak oder andrer Körperchen enthält, deren spezifische Schwere mit der des Wassers ohngefähr einerley ist, da ihre Bewegung auf die Art sichtbar wird, wie die 15te Figur darstellt. Auch bemerkt man auf der Oberfläche des Wassers, wenn solche bis nahe an den Boden niedergesunken ist, eine Delle, die immer sichtbarer und tiefer wird, je mehr das Gefäß sich ausleert, und zulezt einen ordentlichen eingedrückten Trichter bildet.

dürfen die Scheidwände (besonders wenn die Oefnungen in denselben lothrecht übereinander angebracht sind) nicht weniger als 4 bis 5 Zoll von einander entfernt seyn, weil sonst, wenn sie näher aneinander stünden, das Wasser aus der einen Oefnung in die nächstfolgende in einem ununterbrochenen Strahle, gleichsam als in einer Röhre (ohne der übrigen zwischen beyden Scheidwänden befindlichen Wassermasse einige Bewegung mitzutheilen) überströhmen, mithin der Ausfluß nach ganz andern Gesetzen erfolgen würde. Zweytens darf die unterste oder Bodenöfnung nicht mehr als höchstens $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser weit seyn, indem sonst die Luft durch selbe eindringen, und den Raum zwischen der nächsten Scheidwand und der unter derselben sich ausleerenden Wassermasse ausfüllen würde, da dann nach oben keine Einsaugung statt finden könnte, sondern das Wasser durch die Bodenöfnung aus dem untersten Behälter, wie aus einem einfachen oben offenen Gefäße, auslauffen müßte. Oder es muß, um dieses Eindringen der äussern Luft zu verhindern, die Ausflußöfnung selbst ein paar Zolle unter Wasser stehen, wobey aber natürlicherweise die ganze drückende Wasserhöhe H vom Wasserspiegel im obersten Gefäße nicht bis an die Bodenöfnung, sondern nur bis an die Wasserfläche, unter welcher das Wasser ausläuft, in Rechnung zu bringen ist.

Viertes Kapitel.

Zusammenziehung des Wasserstrahls.

§. 29.

Wenn die Voraussetzung, daß währendem Auslaufen des Wassers durch die Oefnung im Boden eines beständig voll erhaltenen zylindrischen oder prismatischen Gefäßes alle horizontalen Schichten der darinn enthaltenen Wassermasse sich mit gleicher Geschwindigkeit gegen den Boden bewegen, vollkommen statt fände, so wären die bisher gefundenen Werthe von v der richtigste Ausdruck für die Geschwindigkeit des ausströmenden Wasserstrahls, und diese in den Querschnitt der Oefnung multiplizirt das genaue Maaß der in einer Sekunde ausfliessenden Wassermenge. Allein da die Geschwindigkeit der untersten zunächst an der Oefnung befindlichen Wassertheilchen nicht plötzlich von c in v übergehen kann, sondern dieser Uebergang vielmehr stuffenweise nach dem Gesetze der Stetigkeit erfolgen muß, so kann auch diejenige Masse Wasser, welche, währendem Auslaufen, im Gefäße wirklich in Bewegung ist, mit der ganzen Wassermasse, welche das Gefäß ausfüllt, nicht völlig einerley seyn, und obige Voraussetzung ist daher nur bis auf eine gewisse Entfernung vom Boden wirklich gegründet, da das ausströmende Wasser nahe über der Oefnung einen trichterförmigen Kanal*) bildet, indem das zu den Seiten und in den Ecken befindliche Wasser vollkommen ruhig bleibt. Die Erfahrung

*) Man kann die Bildung dieses Trichters sehr deutlich in einem grossen gläsernen Zylinder, in dessen Boden eine kleine Oefnung ist, beobachten, wenn man solchen mit Wasser anfüllt, welches eine Menge kleiner Stückgen Siegellak oder andrer Körperchen enthält, deren spezifische Schwere mit der des Wassers ohngefähr einerley ist, da ihre Bewegung auf die Art sichtbar wird, wie die 15te Figur darstellt. Auch bemerkt man auf der Oberfläche des Wassers, wenn solche bis nahe an den Boden niedergesunken ist, eine Delle, die immer sichtbarer und tiefer wird, je mehr das Gefäß sich ausleert, und zulezt einen ordentlichen eingedrückten Trichter bildet.

rung zeigt nämlich, daß bey einer etwas beträchtlichen Höhe des Wasserstandes im Gefäße zwar alle Theilchen der Wassermasse von ihrer Oberfläche an in paralleler Richtung senkrecht niedersinken, und die unmittelbar lothrecht über der Oefnung befindliche Wassersäule ihre Richtung bis an die Oefnung unverändert behält, daß aber die übrigen zur Seite liegenden Wasserstreifen, nachdem sie bis zu einer gewissen Entfernung vom Boden beynahe senkrecht niedergesunken sind, eine mehr oder minder schiefe Richtung annehmen, um sich von allen Seiten der Oefnung zu nähern, je nachdem sie mehr oder weniger von dieser entfernt sind. Der Druck dieser schiefen Wasserstreifen lößt sich demnach in zwo Seitenkräfte auf, wovon die eine horizontal, die andere vertikal gerichtet ist. Die horizontalen, welche auf die Achse der Oefnung senkrecht wirken, werden durch die Reaktion der gerade entgegen gesezten Streifen getilgt: vermöge der andern entsteht eine wirkliche Bewegung durch die Oefnung. Hieraus folgt:

1. daß die Vertikalgeschwindigkeit der Streifen oder Fäden, welche den Strahl bilden, in der Achse am größten ist, und gegen die Peripherie zu abnimmt.

2. Daß der Strahl im Ausströmen einen abgestumpften Kegel, dessen Grundfläche die Oefnung ist, bildet, und sich also ausser derselben zusammenzieht, bis auf eine gewisse Entfernung, da die äussern Fäden ihre schiefe Richtung wieder verlieren, und von den innern, vermöge des Zusammenhangs, in paralleler Richtung mit fortgerissen werden.

§. 30.

Diese lezte Erscheinung, welche offenbar die Wirkung des Seitendrucks der untersten rings um die Oefnung befindlichen Wasserschichten ist, heißt die **Zusammenziehung des Wasserstrahls**, und der kleinste Querschnitt ausserhalb der Oefnung der **Querschnitt des zusammengezogenen Wasserstrahls**. Man sieht, daß wegen dieses Umstandes die Geschwindigkeit des ausfliessenden Wassers nicht durch die ganze im Gefäße befindliche Wassermasse A h bewirkt werden kann, indem ein Theil derselben bloß auf die Zusammendrückung des ausfahrenden Strahls verwendet wird, daß daher diese Geschwindigkeit selbst in der Achse etwas kleiner als $\frac{a \sqrt{g h}}{\sqrt{1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}}}$ seyn, folglich die Ausflußmenge in einem doppelten Verhältnisse

hältnisse vermindert werden muß. Auch begreift man vorläufig, daß diese Zusammenziehung des Wasserstrahls desto unbeträchtlicher seyn muß, je weiter die Oefnung gegen die Weite des Gefäßes ist, und umgekehrt. Bey einem Gefäße ohne Boden, so wie bey einer gleichweiten (etwas langen) Ansatzröhre, findet gar keine Zusammenziehung statt; das Wasser strömt in der ganzen Weite der Mündung aus, weil über derselben kein Seitendruck existirt, sondern alle Theilchen lothrecht in paralleler Richtung niedersinken.

§. 31.

Man hat bey Gefäßen, deren Weite gegen die Weite der Oefnung so beträchtlich ist, daß das Verhältniß $\frac{a}{A}$ ein ganz unbedeutender Bruch wird, bemerkt, daß sich der Durchmesser des zusammengezogenen Wasserstrahls zum Durchmesser der Oefnung, wenn diese zirkelrund und in einer dünnen Platte befindlich ist, wie 1: 1,225, oder wie 0,816: 1 verhält; wenn aber die Oefnung mit einer kurzen Ansatzröhre versehen ist, ohngefähr wie 9: 10. Wäre nun die vertikale Geschwindigkeit aller Fäden, welche den zusammengezogenen Wasserstrahl bilden, gleich groß, und wüste man ihr Verhältniß zu jener, welche wir unter der Voraussetzung, daß gar keine Zusammenziehung statt fände, bestimmt haben, so hätte man allgemein, wenigstens für dergleichen gegen die Weite der Gefäße sehr kleine Oefnungen, ein sicheres Maaß zur Berechnung der in einer Sekunde ausfliessenden Wassermenge. Da indessen die Geschwindigkeit nur in der Achse am größten ist, nach der Peripherie zu aber abnimmt, und es auf keine Weise bestimmt werden kann, der wievielte Theil der ganzen Wasserhöhe auf die Bewirkung der Zusammenziehung des ausfahrenden Wasserstrahls verwendet wird, so bleibt zu einer leidlich genauen Auflösung dieser für die Ausübung so wichtigen Aufgabe kein anderer Weg übrig, als daß man zur Erfahrung seine Zuflucht nimmt, den unter gewissen Umständen beobachteten Wasseraufwand durch den ganzen Querschnitt der Oefnung dividirt, und den Quotienten für die mittlere Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers annimmt. Auf diese Art hat Herr Buat die mittlere Geschwindigkeit für Oefnungen in dünnen Platten $v = \sqrt{278\,h}$, für Oefnungen mit kurzen Ansatzröhren aber $v = \sqrt{478\,h}$ gefunden, wenn v und h in Pariserzollen ausgedrückt, und die Beschleunigung der Schwere nach Parisermaaß $g = 181$ Zoll angenommen wird. Im Grunde ist nun freylich dieses Verfahren unrichtig, da eine solche mittlere

lere Geschwindigkeit nur in der Einbildung existirt, und man darf daher diese Formeln ja nie auf die Bestimmung der Weite oder Höhe anwenden, die ein horizontal oder lothrecht aufwärts strömender Wasserstrahl erreicht, und welche in jedem Falle dem oben angegebenen Werthe von x viel näher kömmt; doch ist solches für die Ausübung zur Bestimmung der Wassermenge der brauchbarste und zuverlässigste Weg. Richtiger wäre allerdings der Ausdruck, wenn man die gefundene Wassermenge in der Sekunde durch den beobachteten kleinsten Querschnitt des zusammengezogenen Wasserstrahls dividirte, und diesen Quotienten für die wahre mittlere Geschwindigkeit annähme. Allein da es in der Ausübung ungemein schwer hält, die Dicke des zusammengezogenen Strahls so genau zu messen, so kann man mit Sicherheit nur von der erst erwähnten Methode Gebrauch machen.

§. 32.

Wenn die Anzahl Kubickzolle, welche in jeder Sekunde ausfliessen, durch Q, die Wasserhöhe über der Oefnung in Zollen durch h, und der Querschnitt der Oefnung in Quadratzollen durch a ausgedrückt wird, so hat man, nach den Erfahrungen der Herren Bossut und Buat, in Pariſermaße

für Oefnungen in einer dünnen Platte

$$Q = a \sqrt{(278\ h)}$$

$$h = \frac{Q^2}{278.\ a^2}$$

für Oefnungen mit einem kurzen Ansatzrohr

$$Q = a \sqrt{(478\ h)}$$

$$h = \frac{Q^2}{478.\ a^2}$$

Wenn keine Zusammenziehung statt fände, und die Geschwindigkeit des ausströmenden Wasserstrahls in jedem Punkte seines Querschnittes gleich groß, und der ganzen Wasserhöhe h zuständig wäre, so hätte man zur Bestimmung der durch die Bodenöfnung eines beständig gleich voll erhaltenen Gefäßes, dessen Weite gegen die Weite der Oefnung sehr beträchtlich ist, allgemein

$$Q = a.v = a \sqrt{(4\ g\ h)} = a \sqrt{(4 . 181\ h)}$$
$$= a \sqrt{(724\ h)}$$

Es

Es verhält sich demnach der wirkliche Ausfluß zu demjenigen, der unter jener Voraussetzung erfolgen müßte, bey Bodenöfnungen in einer dünnen Platte wie $\sqrt{278} : \sqrt{724} = 16,673 : 26,907 = 0,619 : 1$; bey Oefnungen mit einer kurzen Ansatzröhre aber wie $\sqrt{478} : \sqrt{724} = 21,863 : 26,907 = 0,812 : 1$. Man erhält daher die wirkliche Ausflußmenge in einer Sekunde, für den ersten Fall

$$Q = 0,619 . a\, 2\sqrt{g\,h} = 1,238 . a\sqrt{g\,h}$$

für den zweyten

$$Q = 0,812 . a . 2\sqrt{g\,h} = 1,624\, a\sqrt{g\,h},$$

und die nöthige Wasserhöhe für den ersten Fall

$$h = \frac{Q^2}{1,532 . a^2}$$

für den zweyten

$$h = \frac{Q^2}{2,637 . a^2}$$

alles nach Pariſermaße.

§. 33.

Das bisher vorgetragene bezieht sich ganz allein auf den Ausfluß durch Oefnungen, welche gegen die Weite der Gefäße sehr klein sind, da alle bis jezt bekannten Versuche und Erfahrungen nur mit solchen Oefnungen angestellt worden sind. Für Oefnungen von beträchtlicher Weite fehlt es uns leider noch gänzlich an Versuchen, die Zusammenziehung des Wasserstrals zu bestimmen, und eben darum haben wir auch bis jezt noch keine allgemeine auf alle möglichen Werthe von $\frac{a}{A}$ genau passende Formel für die Wassermenge, welche durch die Bodenöfnung eines bis auf eine gewisse Höhe angefüllten Gefäßes ausläuft, oder für die Wasserhöhe, welche erfordert wird, eine gegebene Wassermenge aus einer Oefnung von bestimmter Weite zu liefern. Inzwischen kann man sich, bis man auf dem Wege der Erfahrung zu einer vollständigern Theorie der Zusammenziehung des Wasserstrahls gelangen wird, der Wahrheit durch folgende Betrachtungen wenigstens, so viel als möglich, nähern.

Wenn das Gefäß keinen Boden hat, oder wenn man von einem auf die Höhe h angefüllten gleich weiten Gefäße den Boden plötzlich wegnimmt, so wird die

die ganze Wasserkraft Ah auf die Bewirkung des Ausflusses verwendet. Ist aber die Oefnung a < A, so wird ein Theil jener Kraft, nämlich (A — a) h, bloß zum Druck auf die Bodenfläche A — a rings um die Oefnung verwendet, und man müßte jezt eine Kraft Ah + (A — a) h haben, wenn noch derselbe Ausfluß erfolgen sollte. Man hat aber nur die Kraft Ah, und es verhält sich also der wirkliche Ausfluß durch die Bodenöfnung a zum Ausfluß beym Gefäße ohne Boden, oder was gleich viel heißt, der Ausfluß des zusammengezogenen Wasserstrahls zum Ausfluß ohne Zusammenziehung, wie die Quadratwurzeln der drückenden Kräfte, nämlich, wie $\sqrt{Ah} : \sqrt{(Ah + (A-a).h)} = \sqrt{Ah} : \sqrt{(Ah\,(2-\frac{a}{A}))}$ $= 1 : \sqrt{2-\frac{a}{A}}$) *) Heißt demnach der kleinste Querschnitt des zusammengezogenen Strahls α, so ist

$$\alpha = \frac{a}{\sqrt{\left(2-\frac{a}{A}\right)}}$$

Folglich für ein sehr kleines $\frac{a}{A}$ beynahe $\alpha = \frac{a}{\sqrt{2}} = \frac{a}{1,414} = 0,707 \,.\, a$: welches Verhältniß des zusammengezogenen Querschnittes zum Querschnitt der Oefnung eben dasselbe ist, was Newton und Mariotte durch ihre Versuche bey dergleichen kleinen Oefnungen gefunden haben, und was ziemlich genau das Mittel zwischen dem Ausfluß durch eine dünne Platte und jenem durch eine kurze Ansatzröhre, nach den Versuchen der Herren Bossut und Buat giebt. Ist a = A, so wird nach dieser Formel auch $\alpha = a$, wie der Natur der Sache gemäß ist. Es scheint daher, daß man von dieser Gleichung, welche für die beyden äussersten Gränzen der Aufgabe, nämlich $\frac{a}{A} = 0$, und $\frac{a}{A} = 1$ mit der Erfahrung so richtig übereinstimmende Resultate giebt, auch für alle dazwischen möglichen Werthe von $\frac{a}{A}$ um so eher allgemeinen Gebrauch machen dürfe, als es in diesem Punkte in der Anwendung, wenigstens beym Maschinenwesen, auf die äusserste Schärfe nicht ankömmt.

§. 34.

---

*) Ich habe dieses Raisonnement aus Herrn Rath Langsdorfs Lehrbuch der Hydraulik, III Kapitel entlehnt, doch so vorgetragen, daß dabey die Hypothese seines Hyperbolischen Wasser-Sphäroids wegfällt, welches mir zur Erklärung aller beym Ausfluß vorfallenden Erscheinungen eben so überflüßig scheint, als es überhaupt unnatürlich, und gegen die Erfahrung ist.

§. 34.

Sezt man also, mit Rücksicht auf die Zusammenziehung, in obiger Grundformel (§. 10.) $\frac{a}{\sqrt{\left(2-\frac{a}{A}\right)}}$ statt a, so erhält man

$$h = \frac{v^2}{4g}\left[\left[1+\frac{a^2}{A^2\left(2-\frac{a}{A}\right)}-\frac{a^3}{A^3\left(2-\frac{a}{A}\right)^{\frac{3}{2}}}\right]\right]$$

$$= \frac{v^2}{4g}\left[\left[1+\frac{a^2}{2A^2-aA}\left(1-\frac{a}{\sqrt{(2A^2-aA)}}\right)\right]\right]$$

Deßgleichen $Q = \alpha . v$ statt $a . v$, oder

$$Q = \frac{a . 2\sqrt{gh}}{\sqrt{\left(2-\frac{a}{A}+\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^3}{A^3\sqrt{2-\frac{a}{A}}}\right)}}$$

und $$h = \frac{Q^2}{4g . a^2}\left(2+\frac{a^2}{A^2}-\frac{a}{A}-\frac{a^3}{A^3\sqrt{\left(2-\frac{a}{A}\right)}}\right)$$

§. 35.

Nimmt man solchergestalt auf jede Zusammenziehung Rücksicht, welche Statt findet, so oft das Wasser aus einem weitern Querschnitte in einen engern tritt, so ergiebt sich für den Fall (§. 13. Fig. 7.)

$$h + l =$$

$$\frac{v^2}{4g}\cdot\left[\left[1+\frac{a^2}{2-\frac{a}{W}}\left(\frac{1}{W^2}-\frac{a}{W^3\sqrt{\left(2-\frac{a}{W}\right)}}+\frac{1}{A^2}-\frac{W}{A^3\sqrt{\left(2-\frac{W}{A}\right)}}\right)\right]\right]$$

Für den Fall (§. 18. Fig. 9.)

$$h + l =$$

$$\frac{\mu^2}{4g} \cdot \left[1 + \frac{\varphi^2}{2 - \frac{\varphi}{A}} \left(\frac{1}{A^2} + \frac{1}{W^2} - \frac{\varphi}{\sqrt{\left(2 - \frac{\varphi}{A}\right)}} \left(\frac{1}{A^3} + \frac{1}{W^3} \right) \right) \right]$$

$$= \frac{\mu^2}{4g} \cdot \left[1 + \frac{\varphi^2}{2 - \frac{\varphi}{A}} \left(\frac{A^2 + W^2}{A^2 \cdot W^2} - \frac{A^3 + W^3}{A^3 \cdot W^3} \cdot \frac{\varphi}{\sqrt{\left(2 - \frac{\varphi}{A}\right)}} \right) \right]$$

Für den Fall (§. 21. Fig. 11.)

$$h + l =$$

$$\frac{v^2}{4g} \cdot \left[1 + \frac{a^2}{2 - \frac{a}{W}} \left(\frac{2 - \frac{\varphi}{W}}{\varphi^2} + \frac{A^2 + W^2}{A^2 \cdot W^2} - \frac{A^3 + W^3}{A^3 \cdot W^3} \cdot \frac{\varphi}{\sqrt{\left(2 - \frac{\varphi}{W}\right)}} - \frac{a}{W^3 \sqrt{\left(2 - \frac{a}{W}\right)}} \right) \right]$$

Für den Fall (§. 23. Fig. 12.)

$$h + l =$$

$$\frac{v^2}{4g} \left[1 + \frac{\frac{a^2}{\varphi^2}\left(2 - \frac{\varphi}{A}\right) + 2 \cdot \frac{a^2}{A^2} - 2\frac{a^2\varphi}{A^3\sqrt{\left(2 - \frac{\varphi}{A}\right)}} - \frac{a^3}{A^3\sqrt{\left(2 - \frac{a}{A}\right)}}}{2 - \frac{a}{A}} \right]$$

Und wenn die Oefnung in der Scheidwand einerley Weite mit der Bodenöfnung hat

$$h + l = \frac{v^2}{4g} \left(2 + 2 \cdot \frac{a^2}{A^2\left(2 - \frac{a}{A}\right)} - 3 \cdot \frac{a^3}{A^3\left(2 - \frac{a}{A}\right)^{\frac{3}{2}}} \right)$$

u. s. f., welche Formeln alle, wenn man den Bruch $\frac{a}{A}$ als unbedeutend vernachlässigt, oder wenn man $a = A$ sezt, sich in die erste Grundformel

$$h + l = \frac{v^2}{4g}$$

verwandeln.

§. 36.

§. 36.

Obiger Ausdruck $\alpha = \frac{a}{\sqrt{(2-\frac{a}{A})}}$ giebt den Querschnitt des zusammengezogenen Wasserstrahls etwas grösser, als solcher bey kleinen Oefnungen in einer sehr dünnen Platte, und kleiner, als derselbe bey Oefnungen mit einer kurzen Röhre befunden wird. Da indessen in der Ausübung bey hydraulischen Anlagen dergleichen Zwischenöfnungen in sehr dünnen Platten nie vorkommen, sondern die Dicke der Scheidwände, in welchen die Oefnungen angebracht sind, meist so beträchtlich ist, daß durchgehends nur die Zusammenziehung der zweyten Art statt findet, so wird man von jenem Koeffizienten $\frac{1}{\sqrt{(2-\frac{a}{A})}}$ desto sicherer allgemeinen Gebrauch machen können, da die auf solche Art berechnete Ausflußmenge eher zu klein als zu groß, oder die erforderliche Wasserhöhe eher zu groß als zu klein ausfallen dürfte. Ich füge daher zur Bequemlichkeit derjenigen, welche sich mit dergleichen Berechnungen beschäftigen, folgende kleine Tafel bey.

Werth von $\frac{a}{A}$	Koeffizient der Oefnung $\frac{1}{\sqrt{(2-\frac{a}{A})}}$	Werth von $\frac{A}{a}$	Koeffizient der Oefnung $\frac{1}{\sqrt{(2-\frac{a}{A})}}$
$\frac{1}{1}$	1	$\frac{3}{10}$	0,767
$\frac{9}{10}$	0,954	$\frac{1}{4}$	0,756
$\frac{8}{10}$	0,913	$\frac{2}{10}$	0,745
$\frac{7}{10}$	0,876	$\frac{1}{10}$	0,730
$\frac{6}{10}$	0,845	$\frac{1}{12}$	0,721
$\frac{1}{2}$	0,817	$\frac{1}{16}$	0,719
$\frac{4}{10}$	0,791	$\frac{1}{20}$	0,716

Für kleinere Werthe von $\frac{a}{A}$, dergleichen aber, wenigstens bey hydraulischen Maschinen, selten vorkommen, nähert sich der Koeffizient der Zusammenziehung dem Bruche $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$ immer mehr; z. B. für $\frac{a}{A} = \frac{1}{100}$ wird $\frac{1}{\sqrt{(2-\frac{a}{A})}}$ schon $= 0,7088$ u. s. w.

Fünftes Kapitel.

Widerstand der Röhrenwände und ihrer Krümmungen.

§. 37.

Wir haben bis izt nur von dem Ausfluß aus Gefäßen durch isolirte oder mit sehr kurzen Ansatzröhren versehene Oefnungen gehandelt, und für diese treffen die im vorigen Kapitel angegebenen Formeln mit der Erfahrung sehr gut zusammen. Herr Bossut hat zwar gefunden, daß die Zusammenziehung des Wasserstrahls vor derselben Oefnung etwas geringer wird, je grösser die Höhe der darüberstehenden Wassersäule ist: doch ist diese Verminderung so unbedeutend, daß man sie ohne merklichen Irrthum gänzlich ausser Acht lassen, und die angegebenen Zusammenziehungs-Koeffizienten als beständig für jeden Werth von h beybehalten kann. Allein bey Ansatzröhren von etwas beträchtlicher Länge weicht die wirkliche Ausflußmenge von der auf diese Art berechneten schon merklich ab, und man findet sie bey einerley Wasserhöhe, und Weite der Röhren und Ausflußmündungen desto kleiner, je länger diese Röhren sind, ihre Richtung mag nun lothrecht, horizontal oder geneigt seyn. Diese neue Verminderung der Ausflußmenge rührt nicht von einer grössern Zusammenziehung des Querschnittes der in den Röhren sich fortbewegenden Wassersäule, sondern von dem Widerstande der Röhrenwände selbst her, wodurch die Geschwindigkeit derselben verzögert wird. Es scheint aber dieser Widerstand nicht die Folge einer Reibung der Wassertheilchen unter sich, oder an den Wänden der Röhre zu seyn, sondern ganz allein von der Adhäsion und Klebrigkeit des Wassers und dem unordentlichen Anstossen der Wasserfäden herzurühren, welche in dergleichen Röhren nicht ganz parallel mit der Achse, sondern von einer Seite zur andern in beständig sich kreutzenden Richtungen fortlaufen.*) Auch verursacht die

Rauhe

*) Man kann diese Bewegung in einer hölzernen etwas rösch gelegten Rinne, worin das Wasser nur einige Zoll tief läuft, sehr deutlich bemerken, da das Anstossen und Kreutzen der Fäden auf die Art sichtbar wird, wie ich in der 16ten Figur im Grundriß dargestellt habe. Auch schwimmt ein in diese Rinne geworfenes Stückchen Kork nicht in ganz gerader Linie, sondern mit einer mehr oder minder schlängelnden Bewegung, fort.

Rauhe oder Glätte der Wände (nach Herrn Buats Bemerkungen) keinen Unterschied.

§. 38.

Daß in langen Wasserleitungen überhaupt eine sehr beträchtliche Verzögerung oder Widerstand statt findet, ist zwar eine jedem Empyriker längst bekannte Thatsache, deren Erklärung auch für den Physiker noch ziemlich leicht war: allein die Gesetze aufzufinden, nach welchen dieser Widerstand erfolgt, in welchem Verhältnisse solcher mit der Länge und Weite der Röhren oder Wasserleitungen und der Geschwindigkeit des darinn fortbewegten Wassers steht, und ein allgemeines auf jeden individuellen Fall anwendbares Maaß zur Bestimmung desselben anzugeben, dieß war bisher eine Aufgabe, deren Auflösung man dem blossen Praktiker nicht zumuthen konnte, und die von den meisten theoretischen Schriftstellern sorgfältig mit Stillschweigen umgangen ward, weil der Gegenstand durch keine Kunstgriffe der tiefsten Analytik zu ergründen war, und eigentlich ganz ausser dem Gebiete der Mathematik lag. Glücklicherweise ist es indessen für die Ausübung einerley, auf welchem Wege man zum Besitz einer nützlichen Wahrheit gelangt, und meistens wird der gesuchte Zweck in solchen Fällen weit sicherer und kürzer durch Beobachtung und Erfahrungen erreicht, als durch die scharfsinnigsten Theorien, die auf willkührlich angenommene, nur gar zu oft falsche, Voraussetzungen gebaut werden müssen, und am Ende weiter zu nichts dienen als zu Uebungen im Rechnen. — Einigen französischen Hydrodynamikern, vorzüglich dem Herrn Buat war in neuern Zeiten das Verdienst vorbehalten, für diese in der Ausübung so äusserst wichtige Aufgabe auf einem ganz eigenen Wege eine vollkommen befriedigende allgemeine Auflösung zu finden, und dadurch eine der größten und auffallendsten Lücken in der Lehre von der Bewegung flüssiger Körper auszufüllen. Ich verweise meine Leser, die sich von der sinnreichen Methode, wodurch Herr Buat aus seinen mannigfaltigen unter allen möglichen Veränderungen angestellten Versuchen (die ihn und seine Gehilfen 10 Jahre hintereinander beschäftigten) eine allgemeine auf jeden Fall passende Formel hergeleitet hat, einen vollständigen Begrif machen wollen, auf das Werk desselben *) und

*) Principes d'Hydraulique verifiés par un grand nombre d'Experiences faites par ordre du Gouvernement par Mr. Du Buat Paris 1786. Der erste Band dieses äusserst wichtigen Werkes ist kürzlich von Herrn Professor Kosmann in Berlin übersezt erschienen.

und theile hier nur das Resultat seiner Untersuchungen mit, in so ferne sich solche auf Röhrenleitungen beziehen.

§. 39.

Es sey die ganze Höhe des Gefälles vom Wasserspiegel im Behälter ABCD (Fig. 17.) bis zum Mittelpunkt (eigentlich zum Schwerpunkt) der Ausflußmündung a, oder a d in Zollen = H, die mittlere Geschwindigkeit des durch a ausfliessenden Wassers (d. i. diejenige, welche mit dem ganzen Querschnitt der Oefnung multiplizirt die wirkliche Ausflußmenge giebt) = v in Zollen, so müßte, wenn die Röhrenleitung keinen Widerstand thäte, $v = \sqrt{478.H}$ seyn, (§. 31.) in so ferne der Werth von $\frac{a}{A}$ als unbedeutend nicht in Rechnung kömmt. Sie ist aber wirklich kleiner, weil ein Theil der drückenden Wasserhöhe H bloß allein auf die Ueberwindung jenes Widerstandes verwendet werden muß, und also nur der Ueberrest den wirklichen Ausfluß durch die Oefnung a bewirken kann. Nennt man daher die der beobachteten Ausflußgeschwindigkeit v zugehörige Höhe h, und zieht diese von der ganzen Höhe H ab, so giebt der Rest die Höhe einer Wassersäule, welche mit dem Widerstand der Röhrenwände im Gleichgewicht steht, oder die diesem Widerstand zugehörige Höhe. Es sey diese lezte x, so ist in Parisermaase

$$x = H - h$$
$$= H - \frac{v^2}{478}$$

Diesen Theil der drückenden Wasserhöhe, welcher ganz allein zur Ueberwindung des von den Röhrenwänden herrührenden Widerstandes verwendet wird, auf die ganze Länge der Röhre L vertheilt, nennt Herr Buat das eingebildete Gefälle (la pente fictive) = b = $\frac{L}{x}$. Und da er gefunden hat, daß der Widerstand, bey übrigens gleichen Umständen, in geradem Verhältnisse mit der Grösse der vom Wasser bedeckten Wand, und im umgekehrten Verhältniß der Grösse des Querschnitts der bewegten Wassermasse steht, so nennt er überhaupt den Quotienten des Querschnitts dividirt durch den vom Wasser berührten Umkreis der Leitung den mittlern Halbmesser (le rayon moyen) = r, und abstrahirt nun aus seinen vielen Versuchen folgende allgemeine Gleichung. Für die mittlere Geschwindigkeit des durch eine gerade gleichweite Röhrenstrecke abfliessenden Wassers:

$$v = \frac{297\,(\sqrt{r} - 0,1)}{\sqrt{b} - \text{lognat}\,\sqrt{(b + 1,6)}} - 0,3\,(\sqrt{r} - 0,1)$$

Bey

Bey einem zylindrischen Rohr, dessen Durchmesser d, ist der Umkreis π d, und die Kreisfläche, oder der Querschnitt $= \frac{1}{4} \pi d^2$, folglich $r = \frac{1}{4} d$.

Weil nun ferner $b = \frac{L}{x}$, und $x = H - \frac{v^2}{478}$, so ist

$$b = \frac{L}{H - \frac{v^2}{478}}$$

daher

$$v = \frac{297 \left(\sqrt{\frac{1}{4} d}\right) - 0,1)}{\sqrt{\left(\frac{L}{H - \frac{v^2}{478}}\right)} - \text{lognat} \sqrt{\left(\frac{L}{H - \frac{v^2}{478}} + 1,6\right)} - 0,3 \left(\sqrt{\frac{1}{4} d}\right) - 0,1)}$$

Da es aber schlechterdings unmöglich ist, aus dieser Gleichung die unbekannte Grösse v zu entwickeln, so muß man auf einem andern Wege für b oder für $\frac{L}{H - \frac{v^2}{478}}$ einen gleich geltenden Ausdruck suchen, worinn v nicht enthalten ist.

§. 40.

Man hat bemerkt, daß der Widerstand der Röhrenwände, bey gleicher Weite der Röhren, beynahe in geradem Verhältnisse mit der Länge derselben und dem Quadrate der Geschwindigkeit der durch selbe bewegten Wassermasse steht; bey gleicher Länge und Geschwindigkeit aber umgekehrt wie die mittlern Halbmesser, oder die Quotienten der Querschnitte dividirt durch die Peripherien, d. i. umgekehrt wie die Durchmesser der Röhren sich verhält. Wenn man also für einen Fall den Durchmesser der Röhre d, die Länge derselben L, die Geschwindigkeit des durch selbe bewegten Wassers v, und die dem Widerstand der Röhrenwände zugehörige Höhe x; für einen andern Fall den Durchmesser der Röhre δ, die Länge λ, die beobachtete Geschwindigkeit u, und die Widerstandshöhe y nennt, so wird sehr nahe

$$x : y = \frac{L \cdot v^2}{d} : \frac{\lambda \cdot u^2}{\delta} = L \cdot v^2 \cdot \delta : \lambda \cdot u^2 \cdot d$$

folglich $x = y \cdot \frac{L \cdot v^2 \cdot \delta}{\lambda \cdot u^2 \cdot d}$ seyn.

Die

Die wirkliche Geschwindigkeit in der Röhre L wird demnach nur noch der Höhe $H - x$, oder der Höhe $H - y \cdot \frac{L \cdot v^2 \cdot \delta}{\lambda \cdot u^2 \cdot d}$ zugehören, daher

$$v = \sqrt{\left(478 \left(H - y \cdot \frac{L \cdot v^2 \cdot \delta}{\lambda \cdot u^2 \cdot d}\right)\right)}$$

seyn. Hieraus folgt

$$v^2 \left(1 + 478\ y \cdot \frac{L \cdot \delta}{\lambda \cdot u^2 \cdot d}\right) = 478\ H$$

und

$$v = \frac{\sqrt{(478\ H)}}{\sqrt{\left(1 + 478 \cdot y \cdot \frac{L \cdot \delta}{\lambda \cdot u^2 \cdot d}\right)}}$$

Nun hat Herr Bossut bey einem Gefälle von 24 Zoll, einer Röhrenlänge von 720 Zoll, und einem Durchmesser von 2,01 Zoll die Ausflußgeschwindigkeit $u = 43''$ gefunden. Die dieser Geschwindigkeit zuständige Höhe ohne Röhrenleitung wäre (mit Rücksicht auf die Zusammenziehung) $= \frac{u^2}{478} = \frac{1849}{478} = 3,84''$, folglich war hier die Höhe des Widerstandes

$$y = 24 - 3,84 = 21,16.''$$

Diese Werthe von y, δ, λ und u^2 in die lezte Gleichung gesezt, geben

$$v = \sqrt{\left(\frac{478\ H}{1 + \frac{1}{65} \cdot \frac{L}{d}}\right)}$$

Bey einem andern von Herrn Buat angeführten Versuche des Herrn Couplet, war bey einem Gefälle von 25 Zoll, einer Röhrenlänge von 84240 Zoll und einem Durchmesser von 5 Zoll die Geschwindigkeit $u = 5,323''$. Die dieser Geschwindigkeit zuständige Höhe wäre $\frac{5,323^2}{478} = 0,0592''$, folglich hier die Höhe des Widerstandes

$$y = 25 - 0,0592 = 24,94''.$$

Dieß giebt den Bruch $\frac{478 \cdot y \cdot \delta}{\lambda \cdot u^2} = \frac{1}{40}$.

Bey einem dritten Versuche war für ein Gefälle von 145 Zoll, $\delta = 18''$, $\lambda = 43200''$, die beobachtete Geschwindigkeit $u = 39,159$ Zoll; die dieser Geschwindigkeit zuständige Höhe ist $= \frac{1533}{478} = 3,2''$

Folglich

Folglich $y = 145 - 3,2 = 141,8''$.

und $478 \cdot y \cdot \frac{\delta}{\lambda \cdot u^2} = \frac{1}{54}$.

Nimmt man nun aus diesen dreyen Versuchen den mittlern Werth, so erhält man $478 \cdot y \cdot \frac{\delta}{\lambda \cdot u^2} = \frac{1}{53}$

und

$$v = \sqrt{\left(\frac{478\ H}{1 + \frac{L}{53\ d}}\right)}$$

also $\frac{v^2}{478} = \frac{H}{1 + \frac{L}{53\ d}}$, und dieser Ausdruck in obige Gleichung für b (§. 39.) gesezt, giebt

$$b = \frac{L}{H - \frac{H}{1 + \frac{L}{53\ d}}} = \frac{L + 53\ d}{H}$$

Folglich

$$v = \frac{297\ (\sqrt{\frac{1}{4}\ d} - 0,1)}{\sqrt{\left(\frac{L + 53\ d}{H}\right)} - \text{lognat}\sqrt{\left(\frac{L + 53\ d}{H} + 1,6\right)} - 0,3\ (\sqrt{\frac{1}{4}\ d} - 0,1)}$$

Der auf diese Art gefundene Werth von v giebt die mittlere Geschwindigkeit des durch die Röhre abfliessenden Wassers schon ziemlich genau für die meisten Fälle in der Ausübung, wo es eben auf die größte Schärfe nicht ankömmt. Will man solche aber noch genauer bestimmen, so darf man nur die durch diese lezte Formel gefundene Zahl für v in den Ausdruck $b = \frac{L}{H - \frac{v^2}{478}}$ setzen, und nun v noch einmal nach der ersten Formel (§. 39.) suchen. Es sey z. B. die zulezt gefundene Zahl $= \beta$, so erhält man, so genau als möglich,

$$v = \frac{297\ (\sqrt{\frac{1}{4}\ d} - 0,1)}{\sqrt{\left(\frac{L}{H - \frac{\beta^2}{478}}\right)} - \text{logn.}\sqrt{\left(\frac{L}{H - \frac{\beta^2}{478}} + 1,6\right)} - 0,3\ (\sqrt{\frac{1}{4}\ d} - 0,1)}$$

wo sich alles auf Pariſermaaß bezieht.

§. 41.

Bisher war die Rede nur von geraden Röhrenleitungen, welche ohne Büge und Krümmungen in einer Richtung fortgeführt werden, und nur für solche gilt die lezte Gleichung von v. Bey Röhrenstrecken, welche Krümmungen haben (sie mögen horizontal oder lothrecht seyn) entsteht für jede Krümmung ein neuer Widerstand, der desto beträchtlicher ist, je mehr die Beugung von der geraden Linie abweicht (d. i. je grösser der Anstoßwinkel ist)*) und je schneller das Wasser in dem Rohre bewegt wird. Heißt der Sinus des Anstoßwinkels s, die Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre v in Zollen, so ist nach Herrn Buats Beobachtungen dieser Widerstand dem Druck einer Wassersäule gleich, deren Höhe $= \frac{v^2 . s^2}{3000}$ Pariserzolle. Sind mehrere auf einander folgende Beugungen von verschiedenen Winkeln in derselben Röhrenstrecke, so wird diese Widerstandshöhe $= \frac{v^2 . S^2}{3000}$, wenn man unter S^2 die Summe von den Quadraten der Sinusse der verschiedenen Anstoßwinkel versteht. Hierbey wird aber noch vorausgesezt, daß kein Anstoßwinkel über 30° betrage, und die Wendungen nicht unter einem scharfen Winkel, sondern ganz krummlinicht in die Runde geführt werden, indem widrigenfalls der hievon herrührende Widerstand ungleich beträchtlicher ausfällt. Bey einer Röhrenleitung mit dergleichen Wendungen wird demnach

$$b = \frac{L}{H - \frac{v^2}{478} - \frac{v^2 . S^2}{3000}}$$

$$= \frac{L}{H - \frac{v^2}{478}\left(1 + 0{,}159\, S^2\right)}$$

$$= \frac{L\,(L + 53\,d)}{H\left(L - 8{,}427\, S^2 . d\right)}$$

Folglich

*) Um den Anstoßwinkel, von dem hier die Rede ist, zu bestimmen, muß man den Beugungswinkel abc (Fig. 18.) d. i. denjenigen, welchen die Achsen der beyden Röhrenschenkel im Buge einschliessen, durch eine auf den Punkt b, wo sich die verlängerten Achsen treffen, gezogene Linie fb in zwey gleiche Theile abf und cbf theilen, da dann der Winkel abd, welcher mit abf einen rechten bildet, der Anstoßwinkel ist. Wenn man daher den Beugungswinkel allgemein α, den Anstoßwinkel x nennt, so ist allgemein $x = 90 - \frac{1}{2}\alpha$; z. B. für $\alpha = 120°$ ist $x = 30°$.

Folglich

$$v = \frac{297\,(\sqrt{\tfrac{1}{4}\,d} - 0,1)}{\sqrt{\left(\frac{L\,(L+53\,d)}{H(L-8,427.S^2\,d)}\right)} - \text{logn.}\sqrt{\left(\frac{L\,(L+53\,d)}{H(L-8,427\,S^2\,d} + 1,6\right)} - 0,3\,(\sqrt{\tfrac{1}{4}\,d} - 0,1).}$$

§. 42.

In Fällen, wo eben nicht die größte Genauigkeit erfordert wird, kann man sich zur Bestimmung der mittlern Geschwindigkeit auch wohl der kürzern Formel (§. 40.)

$$v = \sqrt{\left(\frac{478.\,H}{1 + \frac{L}{53\,d}}\right)}$$

und, mit Rücksicht auf Beugungen,

$$v = \frac{\sqrt{(478\,H)}}{\sqrt{\left(1 + \frac{L}{53\,d} + \frac{S^2}{3000}\right)}}$$

bedienen, woraus dann

$$H = \frac{v^2}{478}\left(1 + \frac{L}{53\,d} + \frac{S^2}{3000}\right)$$

sich ergiebt, wenn alle Grössen in Zollen nach Parisermaaße ausgedrückt sind.

§. 43.

Da bey allen bisher angeführten Versuchen der Herren Bossut und Buat das Verhältniß der Weite des Behälters gegen die Weite der angesezten Röhre sehr beträchtlich war, so gelten die lezten Formeln eigentlich auch nur für solche Fälle, wo $\frac{a}{A}$ als ein ganz unbedeutender Bruch in der Rechnung vernachlässigt werden darf; Sonst wird richtiger

$$H = \frac{v^2}{478}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3} + \frac{L}{53\,d} + \frac{S^2}{3000}\right)$$

oder,

oder, wenn man sich des im vorigen Kapitel festgesezten allgemeinen Zusammenziehungskoeffizienten $\frac{1}{\sqrt{(2-\frac{a}{A})}}$ bedient, und durch v die wirkliche Geschwindigkeit des aus der Mündung der Röhre strömenden Wassers ausdrückt,

$$H=\frac{v^2}{4g}\left(1+\frac{a^2}{A^2\left(2-\frac{a}{A}\right)}-\frac{a^3}{A^3\left(2-\frac{a}{A}\right)^{\frac{3}{2}}}+\frac{L}{53\,d}+\frac{S^2}{3000}\right)$$

vorausgesezt, daß die Röhre durchaus gleich weit, und am Ende ganz offen sey.

§. 44.

Wenn daher bey einem beständig voll erhaltenen Gefäße oder Behälter, der Querschnitt desselben = ... A,
Die Weite der Bodenöfnung oder der Ansatzmündung = . . . φ,
Die Weite der angesezten Röhre = ... W,
Der Durchmesser derselben = ... D,
Die Weite der Röhrenmündung oder Ausflußöfnung = . . . a,
Die ganze Länge der Röhre = ... L,
Die ganze Druckhöhe vom Wasserspiegel im Behälter bis zur Ausflußöfnung = H,
Die Summe von den Quadraten der Sinusse der verschiedenen Anstoßwinkel = S^2,
Die wirkliche Geschwindigkeit des durch die Mündung a ausströmenden Wasserstrahls = ... v ist,

so hat man allgemein, mit Rücksicht auf die verschiedenen Zusammenziehungen, auf den Widerstand der Röhrenwände und ihrer Krümmungen, (nach §. 21 und §. 35.)

$$H=\frac{v^2}{4g}\cdot\left[1+\frac{\frac{a^2}{\varphi^2}\left(2-\frac{\varphi}{W}\right)+\frac{a^2}{A^2}+\frac{a^2}{W^2}\left(1+\frac{L}{53\,D}+\frac{S^2}{3000}\right)}{2-\frac{a}{W}}-\frac{\frac{\varphi}{\sqrt{(2-\frac{\varphi}{W})}}\cdot\left(\frac{a^2}{A^3}+\frac{a^2}{W^3}\right)-\frac{a^2}{W^3\sqrt{(2-\frac{a}{W})}}}{2-\frac{a}{W}}\right]$$

Sezt

Sezt man Kürze halber den ganzen zwischen den Klammern eingeschlossenen Koeffizienten = B, so ist

$$H = \frac{v^2}{4g} \cdot B$$

$$v = \frac{2 \sqrt{g H)}}{\sqrt{B}}$$

und die in einer Sekunde ausströmende Wassermenge

$$Q = \frac{a \cdot v}{\sqrt{(2 - \frac{a}{W})}} = \frac{2 a \sqrt{g H)}}{\sqrt{B} \cdot \sqrt{(2 - \frac{a}{W})}}$$

Folglich $$H = \frac{Q^2 \cdot B \left(2 - \frac{a}{W}\right)}{4g \cdot a^2}$$

Sechstes

Sechstes Kapitel.

Allgemeine Bestimmung der Kraft, welche erfordert wird, Wasser in Gefäßen und Röhren mit einer gegebenen Geschwindigkeit aufwärts zu bewegen.

§. 45.

Aufgabe. In dem lothrechten hohlen Zylinder bcde (Fig. 19.) welcher unten offen, oben mit einem Deckel verschlossen ist, worinn sich eine Oefnung von der Weite a befindet, steckt eine bewegliche genau anpassende Scheibe mn; der ganze Raum zwischen der Scheibe und dem Deckel ist mit Wasser angefüllt; man sucht die Kraft P, welche für den Beharrungsstand erfordert wird, die Scheibe mn mit einer gegebenen Geschwindigkeit C aufwärts zu schieben.

Auflösung. Es sey die Höhe, welche der Geschwindigkeit des durch a ausströmenden Wassers zugehört, = x, die Rückwirkung der Fläche be = R, die Höhe mb = l, die Höhe einer Wassersäule, deren Druck dem Widerstand der Röhrenwand in bmne gleich ist, = z, so muß

$$P = Al + R + ax + Az$$

seyn. Es ist aber $R = \left(A - a\right)\left(x + \frac{C^2}{4g}\right)$ (§. 7.)

daher

$$P = Al + Ax + \frac{C^2}{4g}\left(A - a\right) + Az. \quad (\hbar)$$

Sezt man P dem Gewicht einer Wassersäule gleich, deren Grundfläche A und Höhe η ist, so wird $P = A\eta$, und

$$\eta = \frac{P}{A} = 1 + x + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{A}\right) + z.$$

Heißt die Geschwindigkeit des durch die Oefnung a ausströmenden Wassers wieder v, so ist

$$x = \frac{v^2}{4g} = \frac{C^2}{4g} \cdot \frac{A^2}{a^2}$$

Folglich

$$\eta = 1 + \frac{C^2}{4g}\left(1 + \frac{A^2}{a^2} - \frac{a}{A}\right) + z.$$

Weil nun allgemein $z = \frac{C^2}{4g} \cdot \frac{L}{53 \cdot D}$ ist, (§. 40.) wenn L die Länge, und D den Durchmesser der Röhre anzeigt, und hier $L = 1$ ist, so wird

$$\eta = 1 + \frac{C^2}{4g}\left(1 + \frac{A^2}{a^2} - \frac{a}{A} + \frac{1}{53 \cdot D}\right)$$

wo unter a nicht die ganze Weite der Oefnung, sondern der Querschnitt des zusammengezogenen Wasserstrahls $\frac{a}{\sqrt{(2 - \frac{a}{A})}}$ zu verstehen ist. Man hat demnach genauer

$$\eta = 1 + \frac{C^2}{4g}\left(1 + \frac{2A^2 - Aa}{a^2} - \frac{a}{\sqrt{(2A^2 - Aa)}} + \frac{1}{53 \cdot D}\right)$$

§. 46.

Aufgabe. Der lothrechte Zylinder bcde (Fig. 20.) in dessen Boden cd eine Oefnung von der Weite a sich befindet, steht unten in einer unbegränzten Wasserfläche ss. Der ganze Raum zwischen der beweglichen Scheibe mn und dem Boden ist mit Wasser ausgefüllt; man sucht die Kraft P, welche für den Beharrungsstand erfordert wird, diese Scheibe mit der Geschwindigkeit C aufwärts zu ziehen.

Auf-

Auflösung. Bekanntermassen ist im Stande der Ruhe oder des Gleichgewichtes der Druck der Atmosphäre, welchen die Scheibe mn von oben, oder die Suktion, welche sie von unten leidet, dem Gewichte der Wassersäule mcdn gleich. Allein wenn eine wirkliche Bewegung erfolgen, und das Wasser der Scheibe in jedem Augenblicke nachfolgen soll, so muß solches durch die Oefnung a mit einer Geschwindigkeit $v = C \cdot \frac{A}{a}$ eindringen. Die Zurückwirkung, welche dieser eindringende Wasserstrahl auf die Fläche a ausübt, muß von dem Druck der Atmosphäre von unten überwunden werden, und hieraus entsteht eine neue Pressung auf die Fläche mn von oben, oder eine vermehrte Suktion von unten. Man kann sich nun die Sache so vorstellen, als ob die Bodenfläche cd selbst eine Kraft besässe, die von der Scheibe mn aufwärts gezogene Wassersäule mcdn an sich zu halten, und diese Kraft auf dem Querschnitt der Oefnung $= a\,x$, auf der übrigen Fläche des Bodens $= S$ setzen; heißt mc oder die lothrechte Höhe der Wassersäule l, so wird

$$P = ax + S + Al.$$

Es ist aber $S = (A - a)\left(x + \frac{C^2}{4g}\right)$ weil sich die horizontalen Schichten der Wassermasse mcdn mit der Geschwindigkeit C von der Fläche $A - a$ entfernen, folglich

$$P = Ax + \frac{C^2}{4g}\left(A - a\right) + Al.$$

und weil $x = \frac{v^2}{4g} = \frac{C^2}{4g} \cdot \frac{A^2}{a^2}$ ist,

$$P = \frac{C^2}{4g}\left(\frac{A^3}{a^2} + A - a\right) + Al.$$

Sezt man $P =$ dem Gewichte einer Wassersäule von der Grundfläche A und Höhe η, so ergiebt sich

$$\eta = \frac{C^2}{4g}\left(1 + \frac{A^2}{a^2} - \frac{a}{A}\right) + l,$$

und

und wenn man wieder auf die Zusammenziehung des durch die Oefnung a eindringenden Wasserstrahls, und den von der Adhäsion in der Röhre mcdn herrührenden Widerstand Rücksicht nimmt,

$$y = 1 + \frac{c^2}{4g}\left(1 + \frac{2A^2 - aA}{a^2} - \frac{a}{\sqrt{(2A^2 - aA)}} + \frac{1}{53D}\right)$$

dieselbe Formel, welche wir für den Widerstand im vorhergehenden §. Fig. 19 gefunden haben. Woraus erhellet, daß es in Rücksicht auf die bewegende Kraft völlig einerley sey, ob eine Wassersäule von bestimmter Höhe mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch blossen Druck eines Kolben aufwärts geschoben, oder, vermöge des Einflusses der Atmosphäre, in die Höhe gezogen oder gesaugt werde.

§. 47.

Aufgabe. Ueber dem Deckel des Zylinders ABCD, (Fig. 21.) in dessen Mitte eine Oefnung von der Weite a sich befindet, ist ein anderer Zylinder oder Rohr bcde lothrecht angebracht. Das Wasser füllt den Zylinder ABCD bis an die in demselben steckende bewegliche Scheibe mn aus, und steht im Rohr bcde bis an ff auf die Höhe fc = l; die Weite des untern Zylinders ist A, des Rohres W, die Höhe bm = h. Man sucht die Kraft P, welche von unten auf die Scheibe wirken muß, um solche mit der Geschwindigkeit c aufwärts zu drücken.

Auflösung. Die Geschwindigkeit des durch a strömenden Wassers sey, im Beharrungsstande, = v, der im Rohre bcde steigenden Wasserschichten = u, so würde, wenn das Steigen derselben bloß durch Suktion von oben, z. B. durch eine auf ff angebrachte aufwärts gezogene dichte Scheibe bewirkt werden sollte, hiezu eine Kraft p erfordert, (gemäß §. 46.)

$$p = a \cdot \frac{v^2}{4g} + S + Wl$$

$$= a \cdot \frac{v^2}{4g} + \left(W - a\right)\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{u^2}{4g}\right) + Wl$$

$$= W.$$

$$= W \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{u^2}{4g}\left(W - a\right) + Wl .$$

Würde aber die Fläche der Oefnung a schon von unten aufwärts durch eine Kraft gedrückt, die dem Gewicht einer Wassersäule von der Höhe y gleich wäre, so müßte statt $\frac{v^2}{4g}$ nunmehr $\frac{v^2}{4g} - y$ gesezt werden, und man hätte

$$p = W\left(\frac{v^2}{4g} - y\right) + \frac{u^2}{4g}\left(W - a\right) + Wl$$

also

$$Wy = W \cdot \frac{v^2}{4g} + \frac{u^2}{4g}\left(W - a\right) + Wl - p,$$

Und, wenn $p = o$, wie hier der Fall ist,

$$y = \frac{v^2}{4g} + \frac{u^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{W}\right) + l$$

Es ist aber $v = c \cdot \frac{A}{a}$, und $u = c \cdot \frac{A}{W}$, daher

$$y = \frac{c^2}{4g}\left(\frac{A^2}{a^2} + \frac{A^2}{W^2} - \frac{A^2 a}{W^3}\right) + l,$$

Oder, wenn man auch mit auf den Widerstand der Röhrenwände Rücksicht nimmt, und δ der Durchmesser der Röhre be ist,

$$y = \frac{c^2}{4g}\left(\frac{A^2}{a^2} + \frac{A^2}{W^2} - \frac{A^2 a}{W^3} + \frac{A^2 \cdot l}{W^2 \cdot 53\delta}\right) + l .$$

Dieses y ist nun der eigentliche Gegendruck auf die Oefnung a, und eben das, was (§. 45.) x war. Wenn man demnach in der dortigen Gleichung für P (†) h statt l und y statt x sezt, so wird

$$P = Ah + Ay + \frac{c^2}{4g}\left(A - a\right) + Az,$$

und wenn wieder $P = A\eta$ ist,

$$\eta = h + y + \frac{c^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{A}\right) + z$$

$$= h$$

$$= h + l + \frac{c^2}{4g}\left(\frac{A^2}{a^2} + \frac{A^2}{W^2} - \frac{A^2 a}{W^3} + \frac{A^2 . l}{W^2 . 53\delta}\right) + \frac{c^2}{4g}\left(1 - \frac{a}{A}\right) + z$$

$$= h + l + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{A^2}{a^2} + \frac{A^2}{W^2}\left(1 + \frac{l}{53\delta}\right) - \frac{A^2 . a}{W^3} - \frac{a}{A}\right] + z.$$

Heißt des Zylinders ABCD Durchmesser D, so ist $z = \frac{c^2}{4g} \cdot \frac{h}{53D}$, mithin

$$\eta = h + l + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{h}{53D} + \frac{A^2}{a^2} + \frac{A^2}{W^2}\left(1 + \frac{l}{53\delta}\right) - \frac{A^2 a}{W^3} - \frac{a}{A}\right]$$

Wobey, wegen der Zusammenziehung, statt a eigentlich $\frac{a}{\sqrt{(2 - \frac{a}{A})}}$ gesezt werden muß.

§. 48.

Für den Fall, daß $a = W$, verwandelt sich die lezte Gleichung in

$$\eta = h + l + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{h}{53D} + \frac{A^2}{W^2}\left(1 + \frac{l}{53\delta}\right) - \frac{W}{A}\right]$$

Dabey ist aber, wegen der Zusammenziehung, welche das Wasser beym Eintritt in die Röhre leidet, $\frac{W}{\sqrt{(2 - \frac{A}{W})}}$ statt W zu setzen.

§. 49.

Wenn oben auf der Wasserfläche ff (Fig. 21.) noch eine Pressung Q angebracht wäre, so hätte man

$$\eta = h + l + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{h}{53D} + \frac{A^2}{a^2} + \frac{A^2}{W^2}\left(1 + \frac{l}{53\delta}\right) - \frac{A^2 a}{W^3} - \frac{a}{A}\right] + \frac{Q}{W}$$

und

und die Last Q würde mit der Geschwindigkeit $u = c \cdot \frac{A}{W}$ gehoben.

Nun sey (Fig. 22.) der Zylinder bcde oben mit einem Deckel be verschlossen, durch dessen Oefnung φ das Wasser währender Bewegung des Kolben mn ausströmen muß, so ist, wenn die Reaktion der Fläche be $= R$, und die der Ausströmungsgeschwindigkeit durch φ zuständige Höhe $= x$ ist, der neu hinzu kommende Widerstand

$$Q = R + \varphi x - W \cdot \frac{u^2}{4g},$$

weil die Wassermasse W l schon mit der Geschwindigkeit u steigt, folglich zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit keine neue Kraft nöthig ist.

Da nun $R = \left(W - \varphi\right)\left(x + \frac{u^2}{4g}\right)$ ist, so wird

$$Q = \varphi x + \left(W - \varphi\right)\left(x + \frac{u^2}{4g}\right) - W \cdot \frac{u^2}{4g}$$

$$= W x - \varphi \cdot \frac{u^2}{4g},$$

und $\frac{Q}{W} = x - \frac{\varphi}{W} \cdot \frac{u^2}{4g}$.

Heißt die Ausströmungsgeschwindigkeit durch φ wieder v, so ist $x = \frac{v^2}{4g}$ und

$\frac{u^2}{4g} = \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{\varphi^2}{W^2}$,

daher

$$\frac{Q}{W} = \frac{v^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi^3}{W^3}\right)$$

und, weil jezt $v = c \cdot \frac{A}{\varphi}$ ist,

$$\frac{Q}{W} = \frac{c^2}{4g}\left(\frac{A^2}{\varphi^2} - \frac{A^2 \cdot \varphi}{W^3}\right)$$

welcher Werth in die erste Gleichung statt $\frac{Q}{W}$ gesezt, endlich

$$\eta = h + l + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{h}{53\,D} + \frac{A^2}{a^2} + \frac{A^2}{W^2}\left(1 + \frac{l}{53\,\delta}\right) + \frac{A^2}{\varphi^2} - \frac{A^2\varphi}{W^3} - \frac{A^2 a}{W^3} - \frac{a}{A}\right]$$

giebt, wobey jedoch, wegen den Zusammenziehungen in den Oefnungen a und φ, $\frac{a}{\sqrt{(2-\frac{a}{A})}}$ statt a, und $\frac{\varphi}{\sqrt{(2-\frac{\varphi}{W})}}$ statt φ gesezt werden muß.

§. 50.

Sezt man $W = a = A$, so wird aus der lezten Gleichung

$$\eta = h + l + \frac{c^2}{4g}\left(1 + \frac{A^2}{\varphi^2} - \frac{\varphi}{A} + \frac{h+l}{53\,D}\right)$$

dieselbe Gleichung, welche wir §. 45. für diesen Fall gefunden haben, da l statt $h + l$, und a statt φ angenommen ward.

Sezt man auch $\varphi = A$, und die ganze Wasserhöhe $= h$ statt $h + l$, und vernachlässigt den Widerstand der Röhrenwand, so ergiebt sich

$$\eta = h + \frac{c^2}{4g},$$

also $$P = A\left(h + \frac{c^2}{4g}\right)$$

wie schon im ersten Kapitel (§. 5.) für diesen Fall erwiesen worden ist.

§. 51.

Aufgabe. Es sey die Weite des Zylinders rstu (Fig. 23.) $= W$, seine Höhe $rs = i$, die Weite der Oefnung in seinem Boden $= \varphi$, die Höhe der daran lothrecht befestigten Röhre $fi = l$, ihre Weite ω, endlich die Weite des Gefäßes oder Zylinders $ABCD = A$, die Höhe $Am = h$. Man sucht die Kraft P, mit welcher die bewegliche Scheibe mn aufwärts geschoben werden muß, damit das Wasser in dem obersten Zylinder rstu mit der Geschwindigkeit C steige und aus ru trette.

Auf-

Auflösung. Die Geschwindigkeit des durch φ eindringenden Wassers sey v, so ist, wenn dieses durch blosses Saugen von oben bewirkt werden sollte, die Suktion der Oefnung $= \varphi . \frac{v^2}{4g}$, die Suktion der Fläche st oder $S = (W - \varphi)\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{C^2}{4g}\right)$.

Diese beyden Suktionen hätte demnach eine auf ru angebrachte dichte Scheibe, nebst dem Gewichte der Wassersäule W.i zu überwinden, und es wäre die hiezu erforderliche Kraft

$$Q = S + \varphi . \frac{v^2}{4g} + W . i$$

$$= \left(W - \varphi\right)\left(\frac{v^2}{4g} + \frac{C^2}{4g}\right) + \varphi . \frac{v^2}{4g} + W i$$

$$= W . \frac{v^2}{4g} + \frac{C^2}{4g}\left(W - \varphi\right) + W i .$$

Wirkt aber von unten aufwärts gegen die Fläche φ schon ein Druck von der Höhe y entgegen, so muß $\frac{v^2}{4g} - y$ statt $\frac{v^2}{4g}$ gesezt werden, und man erhält

$$Q = W\left(\frac{v^2}{4g} - y\right) + \frac{C^2}{4g}\left(W - \varphi\right) + W i$$

$$\text{also } y = \frac{v^2}{4g} + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right) + i + \frac{Q}{W}$$

und, wenn $Q = o$, wie hier der Fall ist,

$$y = \frac{v^2}{4g} + \frac{C^2}{4g}\left(1 - \frac{\varphi}{W}\right) + i$$

Es ist aber $v = C . \frac{\varphi}{W}$, daher

$$y = \frac{C^2}{4g}\left(1 + \frac{W^2}{\varphi^2} - \frac{\varphi}{W}\right) + i .$$

Da nun dieses y die eigentliche Höhe der Gegenwirkung ist, welche der durch die Oefnung φ von unten eindringende Wasserstrahl nebst der im Gefäße

rstu

rstu befindlichen Wassermasse auf die Fläche der Oefnung φ ausübt, so ist dasselbe in Rücksicht auf die Kraft P eben das, was im 49. §. Fig. 22. da das Wasser durch φ ausströmte, die Reaktion des Wasserstrahls war, und mit x benennt wurde. Wenn man daher in der dortigen ersten Formel für η den zwischen den Klammern eingeschlossenen Koeffizienten von $\frac{c^2}{4g}$ Kürze halber B nennt, und ω statt W sezt, so wird

$$\eta = h + l + \frac{c^2}{4g} \cdot B + \frac{Q}{\omega}$$

$$= h + l + \frac{c^2}{4g} \cdot B + y - \frac{\varphi}{\omega} \cdot \frac{u^2}{4g}$$

Nun ist aber das dortige c die Geschwindigkeit, mit der die im untersten Gefäße ABCD befindliche Wassermasse sich bewegt, und u die Geschwindigkeit in der Röhre bcde, mithin $c = C \cdot \frac{W}{A}$, und $u = C \cdot \frac{W}{\omega}$.

Folglich

$$\eta = h + l + \frac{C^2}{4g} \cdot \frac{W^2}{A^2} \cdot B + y - \frac{C^2}{4g} \cdot \frac{W^2 \varphi}{\omega^3}.$$

Sezt man in diese Gleichung obigen Werth von B (§. 49.) mit Veränderung des Buchstaben W in ω, und den lezt gefundenen Werth von y, so ergiebt sich endlich

$$\eta = h + l + i$$

$$+ \frac{C^2}{4g}\left[1 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{l}{53\delta}\right) + \frac{W^2}{A^2}\left(1 + \frac{h}{53D}\right) - \frac{W^2\varphi}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{A^3}\right]$$

Nennt man die ganze Wasserhöhe $h + l + i = H$, und sezt den von der Adhäsion des Wassers entstehenden Widerstand im obern und untern Gefäße als unbedeutend bey Seite, so wird

$$\eta = H + \frac{C^2}{4g}\left[1 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{l}{53\delta}\right) + \frac{W^2}{A^2} - \frac{W^2\varphi}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{A^3}\right]$$

wobey

wobey wieder zu bemerken ist, daß, wegen der Zusammenziehung, $\frac{\varphi}{\sqrt{(2-\frac{\varphi}{\omega})}}$ statt φ; $\frac{a}{\sqrt{(2-\frac{a}{A})}}$ statt a gesezt werden muß.

§. 52.

Aufgabe. Unter dem lothrechten Zylinder MNOR (Fig. 24.) dessen Weite W und Bodenöfnung φ, ist ein Rohr bcde von geringerer Weite ω, und Länge l angesezt; dieses Rohr, welches unten eine Oefnung von der Weite a hat, steht in einem bis ss mit Wasser angefüllten prismatischen Gefäße ABCD, dessen Weite = A ist. Man sucht die Kraft P, welche, für den Beharrungsstand, erfordert wird, die bewegliche Scheibe mn im obern Zylinder mit der Geschwindigkeit c aufwärts zu ziehen, vorausgesezt, daß das ganze Rohr bcde und der Zylinder bis an die Scheibe mn beym Anfange der Bewegung schon mit Wasser ausgefüllt sey.

Auflösung. Wenn die Höhe einer Wassersäule, welche mit dem Druck der Atmosphäre im Gleichgewicht steht, k, und die ganze Wasserhöhe von der Scheibe mn bis zum Wasserspiegel ss im untersten Gefäße H heißt, so ist der Druck, welchen die Scheibe von oben leidet, im Stande der Ruhe, = W. k; von unten hingegen drückt die Atmosphäre nur noch mit dem Unterschiede k — H auf diese Scheibe, weil ein Theil ihres Druckes von dem Gegendruck der Wassersäule H, welche sie trägt, getilgt wird. In diesem Zustande bleibt daher der eigentliche Druck, welchen die Scheibe mn niederwärts leidet

$$P = W\,k - W\,(k - H) = W\,H,$$

und $$\eta = \frac{P}{W} = H.$$

Wenn aber eine wirkliche Bewegung erfolgen, und das Wasser der mit der Geschwindigkeit c steigenden Scheibe in jedem Augenblicke folgen sollte, so muß sich dasselbe zugleich durch die Querschnitte A, a, ω, φ und W mit eben so viel verschiedenen Geschwindigkeiten bewegen, und da jede dieser Bewegungen neue Kraft erfordert, und diese Kraft nur von dem Druck der Atmosphäre auf die Wasserfläche ss herkom-

herkommen kann, so begreift man vorläufig, daß der Ueberrest des Druckes, welchen die Luft durch das Medium des Wassers gegen die untere Fläche der Scheibe, während ihrer Bewegung, ausübt, jezt noch kleiner als $k - H$, folglich der Druck von oben, oder η auch $> H$ seyn müsse.

Man kann die Sache nun so betrachten, als ob der Druck der Atmosphäre auf die Wasserfläche ss die eigentliche Kraft wäre, und hienächst die Last Q bestimmen, mit welcher die Scheibe mn in der Höhe H von dieser Kraft noch mit der gegebenen Geschwindigkeit gehoben werden könnte. So ergiebt sich

$$\frac{Q}{W} = k - H - \frac{c^2}{4g} \cdot B$$

wenn B den oben bestimmten Koeffizienten (§. 51.) anzeigt. Schreibt man z statt $\frac{Q}{W}$, und substituirt den im lezten § für eben diesen Fall berechneten Ausdruck von B, so erhält man

$$z = k - H - \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{1}{53\delta}\right) + \frac{W^2}{A^2} - \frac{W^2\varphi}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{A^3}\right]$$

und man hat nunmehr

$$\eta = k - z = k - k + H + \frac{c^2}{4g} \cdot B = H + \frac{c^2}{4g} \cdot B =$$

$$\frac{P}{W} = H + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{1}{53\delta}\right) + \frac{W^2}{A^2} - \frac{W^2\varphi}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{A^3}\right]$$

wobey, wegen der Zusammenziehung in den Oefnungen a und φ wieder $\frac{a}{\sqrt{\left(2 - \frac{a}{A}\right)}}$ für a, und $\frac{\varphi}{\sqrt{\left(2 - \frac{\varphi}{\omega}\right)}}$ für φ gesezt werden muß, und von A eigentlich der ganze Querschnitt des Rohres rr abzuziehen ist.

Siebentes Kapitel.

Gesetze der Beschleunigung der in Gefäßen sich bewegenden, und durch Oefnungen und Röhren ausfliessenden Wassermassen.

§. 53.

Das bisher Vorgetragene bezieht sich eigentlich nur auf den Beharrungsstand der Bewegung flüssiger Massen, indem wir auf den Widerstand der Trägheit und die Beschleunigung der Geschwindigkeiten noch keine Rücksicht nahmen. Weil aber bey jeder anfangenden Bewegung die Geschwindigkeit, welche im ersten Augenblicke = o ist, eine gewisse Zeit lang beständig zunimmt, und nicht eher gleichförmig wird, als bis sich die bewegende Kraft mit der bewegten Last in ein vollkommenes Gleichgewicht gesezt hat, so wollen wir die allgemeinen mechanischen Lehren von der Beschleunigung der Kräfte hier auch auf die Bewegung flüssiger Massen anwenden, und mit dem einfachsten aller Fälle den Anfang machen.

§. 54.

Aufgabe. Das mit Wasser angefüllte prismatische oder zylindrische Gefäß ABCD (Fig. 5.) hat in seinem Boden ein Loch von der Weite a, welches plötzlich geöfnet wird. Man sucht die Beschleunigung der Masse mBCn, vorausgesezt, daß die Wasserhöhe über dem Boden beständig gleich = h erhalten werde.

Auflösung. Wenn die Weite des Gefäßes A ist, so kann man Ah als eine beständige Kraft, und die Reaktion der Bodenfläche BC nebst der Rückwirkung des durch die Oefnung ausströmenden Wasserstrahls als Widerstand betrachten. Wenn man daher für diese Grössen die im zweyten Kapitel angenommenen Benennungen beybehält, und die natürliche Beschleunigung der Schwere g, die

Beschleu-

Beschleunigung der Masse Ah aber = f sezt, so ist nach den Lehren der Mechanik

$$f = g \cdot \frac{Ah - (R + ax)}{Ah}$$

Es ist aber $R + ax = A \cdot x \left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right)$

$$= A \cdot \frac{v^2}{4g} \left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right) \text{ (§. 7.)}$$

wenn v die Geschwindigkeit des durch a fliessenden Wassers ist, daher

$$f = g \cdot \left(\frac{h - \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right)}{h}\right)$$

$$= g \cdot \left(1 - \frac{v^2}{4gh}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right)\right)$$

Soll die Bewegung gleichförmig werden, so muß demnach f verschwinden, folglich

$$1 - \frac{v^2}{4gh}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right) = 0$$

werden; und dann ist

$$h = \frac{v^2}{4g}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right).$$

§. 55.

Aufgabe. Man sucht unter den angenommenen Bedingungen die Zeit t, in welcher die Bewegung der Masse Ah, oder die Geschwindigkeit v des durch die Oefnung auslaufenden Wassers gleichförmig wird.

Auflösung. Wenn man sich der allgemeinen mechanischen Formel $c = 2gt$ bedient, so ist für den gegenwärtigen Fall

$$c = 2ft.$$

Drückt

Drückt nun dc diejenige Geschwindigkeit aus, welche die Masse Ah in dem Zeitelemente dt wirklich erhält, so findet man

$$dc = 2f \cdot dt$$

$$= 2g\left(1 - \frac{v^2}{4gh}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right)\right)dt$$

und

$$dt = \frac{dc}{2g\left(1 - \frac{v^2}{4gh}\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3}\right)\right)}$$

oder, weil $v = c \cdot \frac{A}{a}$ ist,

$$dt = \frac{dc}{2g\left(1 - \frac{c^2}{4gh}\left(1 + \frac{A^2}{a^2} - \frac{a}{A}\right)\right)}$$

$$= \frac{2h \cdot dc}{4gh - c^2\left(1 + \frac{A^2}{a^2} - \frac{a}{A}\right)}$$

Nennt man den Koeffizienten $1 + \frac{A^2}{a^2} - \frac{a}{A}$ Kürze halber B, so ist

$$dt = \frac{2\frac{h}{B} \cdot dc}{4g\frac{h}{B} - c^2}$$

$$= 2\frac{h}{B} \cdot dc\left(\frac{1}{4g\frac{h}{B} - c^2}\right)$$

Da nun der Bruch $\frac{1}{4g\frac{h}{B} - c^2}$ aus den zweyen Gliedern $\frac{\alpha}{\sqrt{4g\frac{h}{B}} + c}$ und $\frac{1}{\sqrt{4g\frac{h}{B}} - c}$, beyde mit dem gemeinschaftlichen Faktor $\frac{1}{2\sqrt{\left(4g\frac{h}{B}\right)}}$ multiplizirt, besteht, so läßt sich die lezte Gleichung auch so anschreiben:

dt

$$dt = \frac{2\frac{h}{B}.dc}{2\sqrt{\left(4g\frac{g}{B}\right)}}\left(\frac{1}{\sqrt{\left(4g\frac{h}{B}\right)+c}}+\frac{1}{\sqrt{\left(4g\frac{h}{B}\right)-c}}\right)$$

$$=\frac{h}{2\sqrt{(gBh)}}\left(\frac{dc}{2\sqrt{\left(g\frac{h}{B}\right)+c}}-\frac{-dc}{2\sqrt{\left(g\frac{h}{B}\right)-c}}\right)$$

Die Integration giebt

$$t=\frac{\sqrt{h}}{2\sqrt{gB)}}\left[\text{lognat}\left(2\sqrt{\left(g\frac{h}{B}\right)+c}\right)-\text{lognat}\left(2\sqrt{\left(g\frac{h}{B}\right)-c}\right)\right]$$
$$+\text{ Const.}$$

Weil nun für $t = o$, auch $c = o$ wird, so ist die Konstante hier $= o$, folglich

$$t=\frac{\sqrt{h}}{2\sqrt{gB)}}\cdot\text{lognat}\left[\frac{2\sqrt{\left(g.\frac{h}{B}\right)+c}}{2\sqrt{\left(g\frac{h}{B}\right)-c}}\right]$$

Soll nun die Bewegung gleichförmig werden, so muß $h=\frac{c^2}{4g}\left(1+\frac{A^2}{a^2}-\frac{a}{A}\right)=\frac{c^2}{4g}.B$, also $c=2\sqrt{\left(g\frac{h}{B}\right)}$ seyn, und dieß giebt

$$t=\frac{\sqrt{h}}{2\sqrt{gB)}}\cdot\text{lognat}\left[\frac{4\sqrt{\left(g\frac{h}{B}\right)}}{o}\right]=\infty.$$

Die hiezu erforderliche Zeit ist demnach unendlich groß, das heißt: die Bewegung der Masse Ah, folglich auch die Geschwindigkeit des durch die Oefnung ausströmenden Wassers, beschleunigt sich ohne Ende, und wird, im strengsten mathematischen Sinne, eigentlich nie ganz gleichförmig, daher auch für jeden begränzten Werth von t, $c<\frac{2\sqrt{gh}}{\sqrt{\left(1+\frac{A^2}{a^2}-\frac{a}{A}\right)}}$ oder $v<\frac{2\sqrt{gh}}{\sqrt{\left(1+\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^3}{A^3}\right)}}$ seyn muß.

§. 56.

§. 56.

Wenn $\frac{n}{m}$ einen eigentlichen Bruch vorstellt, dessen Werth nur sehr wenig kleiner als die Einheit ist, so kann man $c = \frac{n}{m}$, $2\sqrt{(g\,\frac{h}{B})}$ setzen, und man findet darnach

$$t = \frac{\sqrt{h}}{2\sqrt{g\,B)}} \cdot \text{lognat.}\,\frac{m+n}{m-n}$$

Es sey $\frac{n}{m} = \frac{999}{1000}$, so hat man $\frac{m+n}{m-n} = 1999$, lognat $1999 = 7{,}5918\ldots$ und

$$t = 3{,}7959 \cdot \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{g\,.\,B)}}$$

zum Beyspiel sey $h = 9'$; $g = 15{,}09'$; $A = 4\square'$; und $a = 1\square$ Zoll, so wird

$$B = 1 + \frac{A^2}{a^2} - \frac{a}{A} = 1 + 576^2 - \frac{1}{576} = 331777$$ (mit Vernachlässigung des unbedeutenden Bruches)

mithin

$$t = \frac{11{,}387}{2237{,}5} = \frac{1}{196}.$$

Nach Verlauf von $\frac{1}{196}$ Sekunde vom Anfange der Bewegung ist daher die Geschwindigkeit der im Gefäße sinkenden Wassermasse, folglich auch die Geschwindigkeit des durch die Bodenöfnung ausströmenden Wasserstrahls nur noch um $\frac{1}{1000}$ Theilchen kleiner, als solche für den Beharrungsstand eigentlich seyn müßte, und sie beschleunigt sich hienächst so unmerklich, daß man sie, ohne zu irren, gleich vom ersten Augenblicke der Bewegung für ganz gleichförmig ansehen kann, wenigstens wenn die Weite der Ausflußöfnung gegen die Weite des Gefäßes sehr klein, und die Wasserhöhe in demselben nicht sehr beträchtlich ist.

§. 57.

Aufgabe. Aus dem Gefäße ABCD (Fig. 6.) dessen Weite A ist, und worinn das Wasser beständig auf der Höhe h erhalten wird, läuft das Wasser durch die an der Bodenöfnung φ angesezte gleichweite lothrechte Röhre mnop von der Länge l, und Weite a ab. Man sucht die Beschleunigung der Bewegung.

Auflö-

Auflösung. Da die Wassermassen A h und a l sich mit verschiedenen Geschwindigkeiten c und v bewegen, so kann man sich beyde als Gewichte P und p denken, welche an einer doppelten Scheibe ohne Schwere (Fig. 25.) auf einer Seite so angebracht sind, daß die Entfernungen, oder Halbmesser b c: m c = c: v = a: A sich verhalten. An der entgegengesezten Seite dieser mathematischen Scheibe kann man sich in der Entfernung c d = b c einen Widerstand (ohne Masse) Q vorstellen, welcher die Reaktion der Bodenfläche A — a, und des durch φ ausströmenden Wassers, mithin = R + a x ist; und in der Entfernung n c = m c einen andern Widerstand ohne Masse q, welcher die von der Adhäsion in der Röhrenwand herrührende Verzögerung anzeigt; dann ist, nach den Lehren der Mechanik, die Beschleunigung der Kraft P, oder

$$f = g.bc.\left(\frac{P.bc + p.mc - Q.cd - q.nc}{P.bc^2 + p.mc^2}\right)$$

Sezt man für b c = c d; a, und für m c = n c; A, so wird

$$f = g.\left(\frac{a^2.P + Aa.p - a^2Q - Aaq}{a^2.P + A^2.p}\right)$$

Weil nun P = A h, und p = a l; Q = R + a x, und q = x . z ist (wo z einen hienächst zu bestimmenden Koeffizienten anzeigt) so ist

$$f = g.\left(\frac{a^2.Ah + A.a^2.l - a^2\,(R + ax) - aAxz}{a^2.Ah + A^2.al}\right)$$

$$= g.\left(\frac{ah + al - \frac{a}{A}(R + ax) - xz}{ah + Al}\right)$$

$$= g.\left(\frac{h + l - \frac{R + ax}{A} - x.\frac{z}{a}}{h + l.\frac{A}{a}}\right)$$

Es ist aber $\frac{R + ax}{A} = \frac{c^2}{4g}\left(1 + \frac{A^2}{a^2} - \frac{a}{A}\right)$,

und

und $x \cdot z = a \cdot \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{1}{53\delta}$ (wenn δ den Durchmesser der Röhre anzeigt) $= a \cdot \frac{c^2}{4g} \cdot \frac{A^2}{a^2} \cdot \frac{1}{53\delta}$; daher

$$f = g \cdot \left(\frac{h + l - \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{A^2}{a^2}\left(1 + \frac{l}{53\delta}\right) - \frac{a}{A}\right]}{h + l\frac{A}{a}} \right)$$

und man sieht, daß für den Beharrungsstand, oder $f = o$,

$$\frac{c^2}{4g} = \frac{h + l}{1 + \frac{A^2}{a^2}\left(1 + \frac{l}{53\delta}\right) - \frac{a}{A}}$$ werden muß.

§. 58.

Wenn man über die Zeit, welche vom Anfang der Bewegung verfliessen muß, bis die Geschwindigkeit des durch die Ansatzröhre (Fig. 6.) abfliessenden Wassers in Beharrungsstand kömmt, ähnliche Untersuchungen anstellt, wie §. 55 — 56, so findet man, wie dort, $t = \infty$, das heißt: es hört in diesem, wie in jenem Falle, die Beschleunigung eigentlich niemals auf, und die Bewegung wird, im strengsten Sinne, nie ganz gleichförmig. Doch kömmt die Geschwindigkeit der sinkenden Wasserschichten im Gefäße ABCD, und des durch die Mündung der Röhre abfliessenden Wassers sehr bald, nachdem diese geöfnet worden, schon so nahe an diejenige Geschwindigkeit, welche dem Beharrungsstande zugehört, und ihre Beschleunigung ist hienächst in den folgenden Zeittheilen so unbedeutend, daß man, bey einem etwas beträchtlichen Verhältnisse von A : a, ohne allen merklichen Fehler, annehmen darf, die Bewegung sey vom ersten Augenblicke an gleichförmig, und die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers beständig

$$= v = \frac{2\sqrt{g\,(H + l)}}{\sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3} + \frac{l}{53\delta}\right)}}.$$

§. 59.

§. 59.

Noch unbedeutender wird die Beschleunigung, wenn am Ende der Röhre ein Boden mit einer kleinern Oefnung, oder irgendwo zwischen dem Gefäße und der Ausflußmündung eine den Durchfluß verengernde Scheidwand angebracht ist; und obwohl in keinem Falle je ein vollkommener Beharrungsstand, im strengsten mathematischen Sinne, erreicht wird, so kann man doch überhaupt als einen Grundsatz annehmen, daß die Geschwindigkeiten der in Gefäßen und Röhren (von mässiger Länge) sich bewegenden Wassermassen sehr bald nach dem Anfange der Bewegung beynahe gleichförmig werden, und zwar desto schneller, je grösser die Hindernisse sind, welche sich ihrer Bewegung entgegen setzen, und welche selbst alle Funktionen dieser Geschwindigkeiten sind.

§. 60.

Aufgabe. Das prismatische Gefäß ABCD (Fig. 26.) dessen Weite A, und worinn der Wasserstand anfänglich AB = h ist, leert sich, ohne Zufluß, durch die lothrechte Ansatzröhre φ a, deren Länge l und Weite a ist, aus. Man sucht die Zeit t, in welcher die Wasserfläche AD bis mn um die Tiefe Am = x niedersinkt.

Auflösung. Da man bey einem etwas beträchtlichen Verhältniß von A : a die Ausflußgeschwindigkeit gleich vom Anfang der Bewegung =

$$v = \frac{2\sqrt{(g\,(h+l))}}{\sqrt{\left(1+\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^3}{A^3}+\frac{l}{53\,\delta}\right)}}$$

setzen kann, so wird solche in jedem Augenblicke der ganzen Wasserhöhe dividirt durch $\left(1+\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^3}{A^3}+\frac{l}{53\,\delta}\right)$ zugehören, und am Ende der Zeit t =

$$v' = \frac{2\sqrt{(g\,(h+l-x))}}{\sqrt{\left(1+\frac{a^2}{A^2}-\frac{a^3}{A^3}+\frac{l}{53\,\delta}\right)}}$$

seyn. Sezt man, Kürze halber, H statt $h + l$, und B für $1 + \frac{a^2}{A^2} - \frac{a^3}{A^3} + \frac{1}{53\delta}$, so ist

$$\dot{v} = \frac{2\sqrt{g(H - x)}}{\sqrt{B}}$$

Diese Geschwindigkeit kann man in dem unendlich kleinen Zeittheilchen dt für gleichförmig ansehen, und demnach die in diesem Zeitelemente ausgeflossene kleine Wassermenge $= a\,dt \cdot 2\frac{\sqrt{(g(H - x))}}{\sqrt{B}}$ setzen.

Es ist aber in dieser Zeit die Wasserfläche im Gefäße um die unendlich kleine Höhe dx niedergesunken, folglich die Wassermenge $A\,dx$ ausgelaufen, daher

$$A\,dx = a\,dt \cdot \frac{2\sqrt{[g(H - x)]}}{\sqrt{B}}$$

und

$$dt = \frac{A\,dx}{a\,2\frac{\sqrt{(g(H - x))}}{\sqrt{B}}}$$

$$= \frac{A\sqrt{B}}{2a\sqrt{g}} \cdot \frac{dx}{\sqrt{(H - x)}}$$

Man setze $\frac{A\sqrt{B}}{2a\sqrt{g}} = R$, und $\sqrt{(H - x)} = y$, so erhält man $dt = \frac{R\,dx}{y}$

Nun ist aber $x = H - y^2$

also $dx = -2\,y\,dy$

daher $dt = \frac{-2\,R\,y\,dy}{y} = -2\,R\,dy$

und $t = -2\,R\,y + \text{Const.}$

$$= -\frac{A\sqrt{B}}{a\sqrt{g}} \cdot \sqrt{(H - x)} + \text{Const.}$$

Sezt

Sezt man $x = o$, so ist auch $t = o$, also

$$o = - \frac{A \sqrt{(B . H)}}{a \sqrt{g}} + \text{Const.}$$

$$\text{und Const.} = \frac{A \sqrt{(B . H)}}{a \sqrt{g}}$$

Folglich

$$t = - \frac{A \sqrt{B} . \sqrt{(H - x)}}{a \sqrt{g}} + \frac{A \sqrt{B} . H)}{a \sqrt{g}}$$

$$= \frac{A \sqrt{B}}{a \sqrt{g}} \left(\sqrt{H} - \sqrt{(H - x)} \right)$$

§. 61.

Sucht man die Zeit T, in welcher das Gefäß sich ganz ausleert, so wird, $x = H$ gesezt,

$$T = \frac{A \sqrt{B} . H)}{a \sqrt{g}}.$$

Ist umgekehrt die Zeit t gegeben, und man sucht, um welche Tiefe x der Wasserspiegel in dieser Zeit sinke, so findet man

$$x = \frac{2 a t . \sqrt{g H}}{A \sqrt{B}} - \frac{g t^2 . a^2}{A^2 . B}.$$

§. 62.

Aufgabe. Das Gefäß ABCDEF (Fig. 27.) welches beständig mit Wasser angefüllt bleibt, steht mit dem lothrechten zylindrischen Rohre abcd in Verbindung; die Weite des Gefäßes AF ist $= A$; die beständige Wasserhöhe $FE = k$; die Weite des Rohres $be = w$, und die anfängliche Wasserhöhe in demselben $mc = h < k$. Man sucht die Zeit t, in welcher die Wasserfläche mm in dem Rohre abcd bis nn um die Höhe $nm = x$ steiget.

Auflösung. Die Geschwindigkeit in mm gehört, für den Beharrungsstand, offenbar der Höhe FE — mb oder k — h zu, und ist

$$c = \frac{2\sqrt{[g\,(k-h)]}}{\sqrt{B}}$$

wenn B den Widerstandskoeffizienten ausdrückt. Weil nun bey einem etwas beträchtlichen Verhältnisse von A: w, und einem etwas bedeutenden Werthe von B die Beschleunigung ganz unmerklich ist, so läßt sich annehmen, daß die Geschwindigkeit der steigenden Wasserfläche mm in jedem Augenblicke der Differenz ihrer Höhe und der beständigen Höhe k dividirt durch $\sqrt{B}$ zugehöre, folglich, am Ende der Zeit t, =

$$c' = \frac{2\sqrt{[g\,(k-h-x)]}}{\sqrt{B}}$$

sey. Da man nun in dem Zeitelemente dt diese Geschwindigkeit als gleichförmig betrachten kann, so ist die in dieser Zeit in das Rohr und über nn eingetretene unendlich kleine Wassermenge =

$$w.dt.c' = \frac{2w.dt.\sqrt{[g\,(k-h-x)]}}{\sqrt{B}}$$

In derselben Zeit wird aber die Fläche nn um das unendlich kleine Stückchen dx gestiegen seyn, und jene kleine Wassermenge läßt sich daher auch durch wdx ausdrücken. Man hat also

$$wdx = \frac{2w\,dt.\sqrt{[g\,(k-h-x)]}}{\sqrt{B}}$$

oder

$$dx = dt.\frac{2\sqrt{[g\,(k-h-x)]}}{\sqrt{B}}$$

und

$$dt = \frac{\sqrt{B}}{2\sqrt{g}}.\frac{dx}{\sqrt{(k-h-x)}}$$

woraus

woraus man durch ein ähnliches Verfahren wie §. 60.

$$t = \frac{\sqrt{B}}{\sqrt{g}}\left[\sqrt{(k-h)} - \sqrt{(k-h-x)}\right]$$

findet; so wie umgekehrt, wenn t gegeben, und x zu suchen ist,

$$x = \frac{2\,t\sqrt{[g\,(k-h)]}}{\sqrt{B}} - \frac{g\,t^2}{B}$$

$$= \frac{t}{B}\left(2\sqrt{\left(g\,B\,(k-h)\right)} - gt\right)$$

Achtes

Achtes Kapitel.

Anwendung der bisher vorgetragenen Lehren auf die Theorie der Saugpumpen; Bestimmung der zu ihrer Bewegung erforderlichen Kraft für den Beharrungsstand.

§. 63.

Unter allen Maschinen, die man in ältern und neuern Zeiten erfunden und vorgeschlagen hat, Wasser auf eine beträchtliche Höhe zu heben, sind die Pumpen die vortheilhaftesten und gemeinnützigsten. Der Gebrauch der Schöpfräder, der Wasserschnecken, der Püschel- und Scheibenkünste u. a. m. ist blos auf einzelne Fälle und mässige Höhen eingeschränkt, da man sich hingegen bey den wichtigsten Anlagen, z. B. bey Salinen und in Bergwerken, heut zu Tage mit Vortheil durchgehends nur der Pumpen zur Hebung des Wassers bedient.

Man kann die Pumpen überhaupt unter drey verschiedene Klassen eintheilen, die man Saugwerke, Hebwerke und Druckwerke nennt.

Saugwerk ist jede Pumpe, bey deren Spiel der Druck oder eigentlich das Uebergewicht der Atmosphäre eine wirkende Stelle vertritt, oder bey welcher der Kolben in seinem höchsten Stande über der Wasserfläche, aus welcher geschöpft wird, erhoben ist. Hebwerk nenne ich eine Pumpe, in welcher das Wasser, nachdem es durch die Kolbenöfnung getretten ist, von dem steigenden Kolben auf eine beträchtliche Höhe bis zum Ausguß gehoben wird; und Druckwerke sind diejenigen Pumpen, bey welchen das währendem Aufzuge des Kolbens in den Zylinder oder Stiefel eingezogene Wasser durch den Druck des niedergehenden Kolbens in ein zur Seite angebrachtes aufwärts gebogenes Rohr gepreßt wird, welches Steigrohr heißt.

Nun sind zwar die meisten Pumpen so eingerichtet, daß sie alle vereinbarte Saug- und Hebwerke, oder vereinbarte Saug- und Druckwerke vorstellen; indessen kann man obige Benennungen für alle möglichen Anordnungen von Pumpwerken nach dem Maaße beybehalten, als die eine oder die andere Wirkungsart hiebey vorzüglich in Betrachtung kömmt, so daß z. B. eine gewöhnliche Saugpumpe, welche gleich über dem Kolbenrohr ausgießt, oder ein sogenannter niedriger Satz (wie

Fig.

Fig. 28.) schlechthin Saugwerk; eine Saugpumpe hingegen, welche über dem Kolbenrohr noch mit einem Aufsatzrohr von beträchtlicher Höhe versehen ist (ein sogenannter hoher Satz) (Fig. 29.) vereinbartes Saug- und Hebwerk; eine Druckpumpe, welche gar kein Saugrohr, oder doch ein gegen die Höhe der Steigröhre nur sehr kurzes Saugrohr hat, schlechthin Druckwerk (Fig. 30 — 31) endlich eine Druckpumpe mit einer Saugröhre von beträchtlicher Länge oder Höhe (wie Fig. 32—33.) vereinbartes Saug- und Druckwerk hiesse. Ich beschäftige mich in gegenwärtigem Bande nur mit den Pumpen der ersten und zweyten Klasse, vorzüglich in Rücksicht auf ihren Gebrauch beym Bergbau und Salinenwesen.

§. 64.

Da ich Leser voraussetze, welche in den Anfangsgründen der Hydraulik schon unterrichtet, und folglich mit dem gewöhnlichen Mechanismus der Pumpwerke, und den allgemeinen Grundsätzen, auf denen die Wirkung derselben beruht, hinlänglich bekannt sind, so brauche ich hier nicht erst mit einer umständlichen Beschreibung und Erklärung der verschiedenen Theile dieser Maschinen, dergleichen man in allen Lehrbüchern der Hydraulik findet, die Zeit zu verlieren, sondern schreite sogleich zur Anwendung der bisher vorgetragenen Sätze auf die eigentliche Theorie der Saug- und Hebpumpen. Ich übergehe aber hiebey geflissentlich alles, was die Gesetze des allmähligen Steigens des Wassers beym Anfange der Bewegung, vorzüglich bey unvollkommenen Pumpen, betrift, theils, weil dieser Gegenstand von Herrn Hofrath Karsten in seinem Lehrbegriffe fünften Band siebenzehnten Abschnitt, und neuerlich von Herrn Rath Langsdorf in seinem Lehrbuch der Hydraulik, vier und zwanzigsten Kapitel, mit aller nur möglichen Schärfe und Gründlichkeit schon hinlänglich erörtert ist, theils weil mir diese Untersuchungen, so mühsam und artig sie auch seyn mögen, im Grunde doch keinen wahren Nutzen in der Anwendung zu haben scheinen, da man die Wirkung einer Pumpe eigentlich erst, nachdem das Wasser zum Ausguß gekommen ist, zu beurtheilen pflegt.*) Im Vorbeygehen hier nur ein paar Worte über den schädlichen Raum.

§. 65.

---

*) Alle von den H. H. Karsten und Langsdorf über dieses progressive Steigen des Wassers in Saugröhren gefundene Formeln gründen sich auf eine Voraussetzung, welche in der Natur niemals Statt findet; ich meine, die vollkommenste Dichte der Liederung vom ersten Kolbenzuge an.

Achtes Kapitel.

Anwendung der bisher vorgetragenen Lehren auf die Theorie der Saugpumpen; Bestimmung der zu ihrer Bewegung erforderlichen Kraft für den Beharrungsstand.

§. 63.

Unter allen Maschinen, die man in ältern und neuern Zeiten erfunden und vorgeschlagen hat, Wasser auf eine beträchtliche Höhe zu heben, sind die Pumpen die vortheilhaftesten und gemeinnützigsten. Der Gebrauch der Schöpfräder, der Wasserschnecken, der Püschel- und Scheibenkünste u. a. m. ist blos auf einzelne Fälle und mässige Höhen eingeschränkt, da man sich hingegen bey den wichtigsten Anlagen, z. B. bey Salinen und in Bergwerken, heut zu Tage mit Vortheil durchgehends nur der Pumpen zur Hebung des Wassers bedient.

Man kann die Pumpen überhaupt unter drey verschiedene Klassen eintheilen, die man Saugwerke, Hebwerke und Druckwerke nennt.

Saugwerk ist jede Pumpe, bey deren Spiel der Druck oder eigentlich das Uebergewicht der Atmosphäre eine wirkende Stelle vertritt, oder bey welcher der Kolben in seinem höchsten Stande über der Wasserfläche, aus welcher geschöpft wird, erhoben ist. Hebwerk nenne ich eine Pumpe, in welcher das Wasser, nachdem es durch die Kolbenöfnung getretten ist, von dem steigenden Kolben auf eine beträchtliche Höhe bis zum Ausguß gehoben wird; und Druckwerke sind diejenigen Pumpen, bey welchen das währendem Aufzuge des Kolbens in den Zylinder oder Stiefel eingezogene Wasser durch den Druck des niedergehenden Kolbens in ein zur Seite angebrachtes aufwärts gebogenes Rohr gepreßt wird, welches Steigrohr heißt.

Nun sind zwar die meisten Pumpen so eingerichtet, daß sie alle vereinbarte Saug- und Hebwerke, oder vereinbarte Saug- und Druckwerke vorstellen; indessen kann man obige Benennungen für alle möglichen Anordnungen von Pumpwerken nach dem Maaße beybehalten, als die eine oder die andere Wirkungsart hiebey vorzüglich in Betrachtung kömmt, so daß z. B. eine gewöhnliche Saugpumpe, welche gleich über dem Kolbenrohr ausgießt, oder ein sogenannter niedriger Satz (wie

Fig.

Fig. 28.) schlechthin Saugwerk; eine Saugpumpe hingegen, welche über dem Kolbenrohr noch mit einem Aufsatzrohr von beträchtlicher Höhe versehen ist (ein sogenannter hoher Satz) (Fig. 29.) vereinbartes Saug- und Hebwerk; eine Druckpumpe, welche gar kein Saugrohr, oder doch ein gegen die Höhe der Steigröhre nur sehr kurzes Saugrohr hat, schlechthin Druckwerk (Fig. 30 — 31) endlich eine Druckpumpe mit einer Saugröhre von beträchtlicher Länge oder Höhe (wie Fig. 32—33.) vereinbartes Saug- und Druckwerk hiesse. Ich beschäftige mich in gegenwärtigem Bande nur mit den Pumpen der ersten und zweyten Klasse, vorzüglich in Rücksicht auf ihren Gebrauch beym Bergbau und Salinenwesen.

§. 64.

Da ich Leser voraussetze, welche in den Anfangsgründen der Hydraulik schon unterrichtet, und folglich mit dem gewöhnlichen Mechanismus der Pumpwerke, und den allgemeinen Grundsätzen, auf denen die Wirkung derselben beruht, hinlänglich bekannt sind, so brauche ich hier nicht erst mit einer umständlichen Beschreibung und Erklärung der verschiedenen Theile dieser Maschinen, dergleichen man in allen Lehrbüchern der Hydraulik findet, die Zeit zu verlieren, sondern schreite sogleich zur Anwendung der bisher vorgetragenen Sätze auf die eigentliche Theorie der Saug- und Hebpumpen. Ich übergehe aber hiebey geflissentlich alles, was die Gesetze des allmähligen Steigens des Wassers beym Anfange der Bewegung, vorzüglich bey unvollkommenen Pumpen, betrift, theils, weil dieser Gegenstand von Herrn Hofrath Karsten in seinem Lehrbegriffe fünften Band siebenzehnten Abschnitt, und neuerlich von Herrn Rath Langsdorf in seinem Lehrbuch der Hydraulik, vier und zwanzigsten Kapitel, mit aller nur möglichen Schärfe und Gründlichkeit schon hinlänglich erörtert ist, theils weil mir diese Untersuchungen, so mühsam und artig sie auch seyn mögen, im Grunde doch keinen wahren Nutzen in der Anwendung zu haben scheinen, da man die Wirkung einer Pumpe eigentlich erst, nachdem das Wasser zum Ausguß gekommen ist, zu beurtheilen pflegt. *) Im Vorbeygehen hier nur ein paar Worte über den schädlichen Raum.

§. 65.

*) Alle von den H. H. Karsten und Langsdorf über dieses progressive Steigen des Wassers in Saugröhren gefundene Formeln gründen sich auf eine Voraussetzung, welche in der Natur niemals Statt findet; ich meine, die vollkommenste Dichte der Liederung vom ersten Kolbenzuge an.

Achtes Kapitel.

Anwendung der bisher vorgetragenen Lehren auf die Theorie der Saugpumpen; Bestimmung der zu ihrer Bewegung erforderlichen Kraft für den Beharrungsstand.

§. 63.

Unter allen Maschinen, die man in ältern und neuern Zeiten erfunden und vorgeschlagen hat, Wasser auf eine beträchtliche Höhe zu heben, sind die Pumpen die vortheilhaftesten und gemeinnützigsten. Der Gebrauch der Schöpfräder, der Wasserschnecken, der Püschel- und Scheibenkünste u. a. m. ist blos auf einzelne Fälle und mässige Höhen eingeschränkt, da man sich hingegen bey den wichtigsten Anlagen, z. B. bey Salinen und in Bergwerken, heut zu Tage mit Vortheil durchgehends nur der Pumpen zur Hebung des Wassers bedient.

Man kann die Pumpen überhaupt unter drey verschiedene Klassen eintheilen, die man Saugwerke, Hebwerke und Druckwerke nennt.

Saugwerk ist jede Pumpe, bey deren Spiel der Druck oder eigentlich das Uebergewicht der Atmosphäre eine wirkende Stelle vertritt, oder bey welcher der Kolben in seinem höchsten Stande über der Wasserfläche, aus welcher geschöpft wird, erhoben ist. Hebwerk nenne ich eine Pumpe, in welcher das Wasser, nachdem es durch die Kolbenöfnung getretten ist, von dem steigenden Kolben auf eine beträchtliche Höhe bis zum Ausguß gehoben wird; und Druckwerke sind diejenigen Pumpen, bey welchen das währendem Aufzuge des Kolbens in den Zylinder oder Stiefel eingezogene Wasser durch den Druck des niedergehenden Kolbens in ein zur Seite angebrachtes aufwärts gebogenes Rohr gepreßt wird, welches Steigrohr heißt.

Nun sind zwar die meisten Pumpen so eingerichtet, daß sie alle vereinbarte Saug- und Hebwerke, oder vereinbarte Saug- und Druckwerke vorstellen; indessen kann man obige Benennungen für alle möglichen Anordnungen von Pumpwerken nach dem Maaße beybehalten, als die eine oder die andere Wirkungsart hiebey vorzüglich in Betrachtung kömmt, so daß z. B. eine gewöhnliche Saugpumpe, welche gleich über dem Kolbenrohr ausgießt, oder ein sogenannter niedriger Satz (wie

Fig.

Fig. 28.) schlechthin Saugwerk; eine Saugpumpe hingegen, welche über dem Kolbenrohr noch mit einem Aufsatzrohr von beträchtlicher Höhe versehen ist (ein sogenannter hoher Satz) (Fig. 29.) vereinbartes Saug- und Hebwerk; eine Druckpumpe, welche gar kein Saugrohr, oder doch ein gegen die Höhe der Steigröhre nur sehr kurzes Saugrohr hat, schlechthin Druckwerk (Fig. 30 — 31) endlich eine Druckpumpe mit einer Saugröhre von beträchtlicher Länge oder Höhe (wie Fig. 32—33.) vereinbartes Saug- und Druckwerk hiesse. Ich beschäftige mich in gegenwärtigem Bande nur mit den Pumpen der ersten und zweyten Klasse, vorzüglich in Rücksicht auf ihren Gebrauch beym Bergbau und Salinenwesen.

§. 64.

Da ich Leser voraussetze, welche in den Anfangsgründen der Hydraulik schon unterrichtet, und folglich mit dem gewöhnlichen Mechanismus der Pumpwerke, und den allgemeinen Grundsätzen, auf denen die Wirkung derselben beruht, hinlänglich bekannt sind, so brauche ich hier nicht erst mit einer umständlichen Beschreibung und Erklärung der verschiedenen Theile dieser Maschinen, dergleichen man in allen Lehrbüchern der Hydraulik findet, die Zeit zu verlieren, sondern schreite sogleich zur Anwendung der bisher vorgetragenen Sätze auf die eigentliche Theorie der Saug- und Hebpumpen. Ich übergehe aber hiebey geflissentlich alles, was die Gesetze des allmähligen Steigens des Wassers beym Anfange der Bewegung, vorzüglich bey unvollkommenen Pumpen, betrift, theils, weil dieser Gegenstand von Herrn Hofrath Karsten in seinem Lehrbegriffe fünften Band siebenzehnten Abschnitt, und neuerlich von Herrn Rath Langsdorf in seinem Lehrbuch der Hydraulik, vier und zwanzigsten Kapitel, mit aller nur möglichen Schärfe und Gründlichkeit schon hinlänglich erörtert ist, theils weil mir diese Untersuchungen, so mühsam und artig sie auch seyn mögen, im Grunde doch keinen wahren Nutzen in der Anwendung zu haben scheinen, da man die Wirkung einer Pumpe eigentlich erst, nachdem das Wasser zum Ausguß gekommen ist, zu beurtheilen pflegt. *) Im Vorbeygehen hier nur ein paar Worte über den schädlichen Raum.

§. 65.

---

*) Alle von den H. H. Karsten und Langsdorf über dieses progressive Steigen des Wassers in Saugröhren gefundene Formeln gründen sich auf eine Voraussetzung, welche in der Natur niemals Statt findet; ich meine, die vollkommenste Dichte der Liederung vom ersten Kolbenzuge an.

Achtes Kapitel.

Anwendung der bisher vorgetragenen Lehren auf die Theorie der Saugpumpen; Bestimmung der zu ihrer Bewegung erforderlichen Kraft für den Beharrungsstand.

§. 63.

Unter allen Maschinen, die man in ältern und neuern Zeiten erfunden und vorgeschlagen hat, Wasser auf eine beträchtliche Höhe zu heben, sind die Pumpen die vortheilhaftesten und gemeinnützigsten. Der Gebrauch der Schöpfräder, der Wasserschnecken, der Püschel- und Scheibenkünste u. a. m. ist blos auf einzelne Fälle und mässige Höhen eingeschränkt, da man sich hingegen bey den wichtigsten Anlagen, z. B. bey Salinen und in Bergwerken, heut zu Tage mit Vortheil durchgehends nur der Pumpen zur Hebung des Wassers bedient.

Man kann die Pumpen überhaupt unter drey verschiedene Klassen eintheilen, die man Saugwerke, Hebwerke und Druckwerke nennt.

Saugwerk ist jede Pumpe, bey deren Spiel der Druck oder eigentlich das Uebergewicht der Atmosphäre eine wirkende Stelle vertritt, oder bey welcher der Kolben in seinem höchsten Stande über der Wasserfläche, aus welcher geschöpft wird, erhoben ist. Hebwerk nenne ich eine Pumpe, in welcher das Wasser, nachdem es durch die Kolbenöfnung getretten ist, von dem steigenden Kolben auf eine beträchtliche Höhe bis zum Ausguß gehoben wird; und Druckwerke sind diejenigen Pumpen, bey welchen das währendem Aufzuge des Kolbens in den Zylinder oder Stiefel eingezogene Wasser durch den Druck des niedergehenden Kolbens in ein zur Seite angebrachtes aufwärts gebogenes Rohr gepreßt wird, welches Steigrohr heißt.

Nun sind zwar die meisten Pumpen so eingerichtet, daß sie alle vereinbarte Saug- und Hebwerke, oder vereinbarte Saug- und Druckwerke vorstellen; indessen kann man obige Benennungen für alle möglichen Anordnungen von Pumpwerken nach dem Maaße beybehalten, als die eine oder die andere Wirkungsart hiebey vorzüglich in Betrachtung kömmt, so daß z. B. eine gewöhnliche Saugpumpe, welche gleich über dem Kolbenrohr ausgießt, oder ein sogenannter niedriger Satz (wie

Fig.

Fig. 28.) schlechthin Saugwerk; eine Saugpumpe hingegen, welche über dem Kolbenrohr noch mit einem Aufsatzrohr von beträchtlicher Höhe versehen ist (ein sogenannter hoher Satz) (Fig. 29.) vereinbartes Saug- und Hebwerk; eine Druckpumpe, welche gar kein Saugrohr, oder doch ein gegen die Höhe der Steigröhre nur sehr kurzes Saugrohr hat, schlechthin Druckwerk (Fig. 30 — 31) endlich eine Druckpumpe mit einer Saugröhre von beträchtlicher Länge oder Höhe (wie Fig. 32—33.) vereinbartes Saug- und Druckwerk hiesse. Ich beschäftige mich in gegenwärtigem Bande nur mit den Pumpen der ersten und zweyten Klasse, vorzüglich in Rücksicht auf ihren Gebrauch beym Bergbau und Salinenwesen.

§. 64.

Da ich Leser voraussetze, welche in den Anfangsgründen der Hydraulik schon unterrichtet, und folglich mit dem gewöhnlichen Mechanismus der Pumpwerke, und den allgemeinen Grundsätzen, auf denen die Wirkung derselben beruht, hinlänglich bekannt sind, so brauche ich hier nicht erst mit einer umständlichen Beschreibung und Erklärung der verschiedenen Theile dieser Maschinen, dergleichen man in allen Lehrbüchern der Hydraulik findet, die Zeit zu verlieren, sondern schreite sogleich zur Anwendung der bisher vorgetragenen Sätze auf die eigentliche Theorie der Saug- und Hebpumpen. Ich übergehe aber hiebey geflissentlich alles, was die Gesetze des allmähligen Steigens des Wassers beym Anfange der Bewegung, vorzüglich bey unvollkommenen Pumpen, betrift, theils, weil dieser Gegenstand von Herrn Hofrath Karsten in seinem Lehrbegriffe fünften Band siebenzehnten Abschnitt, und neuerlich von Herrn Rath Langsdorf in seinem Lehrbuch der Hydraulik, vier und zwanzigsten Kapitel, mit aller nur möglichen Schärfe und Gründlichkeit schon hinlänglich erörtert ist, theils weil mir diese Untersuchungen, so mühsam und artig sie auch seyn mögen, im Grunde doch keinen wahren Nutzen in der Anwendung zu haben scheinen, da man die Wirkung einer Pumpe eigentlich erst, nachdem das Wasser zum Ausguß gekommen ist, zu beurtheilen pflegt. *) Im Vorbeygehen hier nur ein paar Worte über den schädlichen Raum.

§. 65.

---

*) Alle von den H. H. Karsten und Langsdorf über dieses progressive Steigen des Wassers in Saugröhren gefundene Formeln gründen sich auf eine Voraussetzung, welche in der Natur niemals Statt findet; ich meine, die vollkommenste Dichte der Liederung vom ersten Kolbenzuge an.

Achtes Kapitel.

Anwendung der bisher vorgetragenen Lehren auf die Theorie der Saugpumpen; Bestimmung der zu ihrer Bewegung erforderlichen Kraft für den Beharrungsstand.

§. 63.

Unter allen Maschinen, die man in ältern und neuern Zeiten erfunden und vorgeschlagen hat, Wasser auf eine beträchtliche Höhe zu heben, sind die Pumpen die vortheilhaftesten und gemeinnützigsten. Der Gebrauch der Schöpfräder, der Wasserschnecken, der Püschel- und Scheibenkünste u. a. m. ist blos auf einzelne Fälle und mässige Höhen eingeschränkt, da man sich hingegen bey den wichtigsten Anlagen, z. B. bey Salinen und in Bergwerken, heut zu Tage mit Vortheil durchgehends nur der Pumpen zur Hebung des Wassers bedient.

Man kann die Pumpen überhaupt unter drey verschiedene Klassen eintheilen, die man Saugwerke, Hebwerke und Druckwerke nennt.

Saugwerk ist jede Pumpe, bey deren Spiel der Druck oder eigentlich das Uebergewicht der Atmosphäre eine wirkende Stelle vertritt, oder bey welcher der Kolben in seinem höchsten Stande über der Wasserfläche, aus welcher geschöpft wird, erhoben ist. Hebwerk nenne ich eine Pumpe, in welcher das Wasser, nachdem es durch die Kolbenöfnung getretten ist, von dem steigenden Kolben auf eine beträchtliche Höhe bis zum Ausguß gehoben wird; und Druckwerke sind diejenigen Pumpen, bey welchen das währendem Aufzuge des Kolbens in den Zylinder oder Stiefel eingezogene Wasser durch den Druck des niedergehenden Kolbens in ein zur Seite angebrachtes aufwärts gebogenes Rohr gepreßt wird, welches Steigrohr heißt.

Nun sind zwar die meisten Pumpen so eingerichtet, daß sie alle vereinbarte Saug- und Hebwerke, oder vereinbarte Saug- und Druckwerke vorstellen; indessen kann man obige Benennungen für alle möglichen Anordnungen von Pumpwerken nach dem Maaße beybehalten, als die eine oder die andere Wirkungsart hiebey vorzüglich in Betrachtung kömmt, so daß z. B. eine gewöhnliche Saugpumpe, welche gleich über dem Kolbenrohr ausgießt, oder ein sogenannter niedriger Satz (wie

Fig.

Fig. 28.) schlechthin Saugwerk; eine Saugpumpe hingegen, welche über dem Kolbenrohr noch mit einem Aufsatzrohr von beträchtlicher Höhe versehen ist (ein sogenannter hoher Satz) (Fig. 29.) vereinbartes Saug- und Hebwerk; eine Druckpumpe, welche gar kein Saugrohr, oder doch ein gegen die Höhe der Steigröhre nur sehr kurzes Saugrohr hat, schlechthin Druckwerk (Fig. 30 — 31) endlich eine Druckpumpe mit einer Saugröhre von beträchtlicher Länge oder Höhe (wie Fig. 32—33.) vereinbartes Saug- und Druckwerk hiesse. Ich beschäftige mich in gegenwärtigem Bande nur mit den Pumpen der ersten und zweyten Klasse, vorzüglich in Rücksicht auf ihren Gebrauch beym Bergbau und Salinenwesen.

§. 64.

Da ich Leser voraussetze, welche in den Anfangsgründen der Hydraulik schon unterrichtet, und folglich mit dem gewöhnlichen Mechanismus der Pumpwerke, und den allgemeinen Grundsätzen, auf denen die Wirkung derselben beruht, hinlänglich bekannt sind, so brauche ich hier nicht erst mit einer umständlichen Beschreibung und Erklärung der verschiedenen Theile dieser Maschinen, dergleichen man in allen Lehrbüchern der Hydraulik findet, die Zeit zu verlieren, sondern schreite sogleich zur Anwendung der bisher vorgetragenen Sätze auf die eigentliche Theorie der Saug- und Hebpumpen. Ich übergehe aber hiebey geflissentlich alles, was die Gesetze des allmähligen Steigens des Wassers beym Anfange der Bewegung, vorzüglich bey unvollkommenen Pumpen, betrift, theils, weil dieser Gegenstand von Herrn Hofrath Karsten in seinem Lehrbegriffe fünften Band siebenzehnten Abschnitt, und neuerlich von Herrn Rath Langsdorf in seinem Lehrbuch der Hydraulik, vier und zwanzigsten Kapitel, mit aller nur möglichen Schärfe und Gründlichkeit schon hinlänglich erörtert ist, theils weil mir diese Untersuchungen, so mühsam und artig sie auch seyn mögen, im Grunde doch keinen wahren Nutzen in der Anwendung zu haben scheinen, da man die Wirkung einer Pumpe eigentlich erst, nachdem das Wasser zum Ausguß gekommen ist, zu beurtheilen pflegt. *) Im Vorbeygehen hier nur ein paar Worte über den schädlichen Raum.

§. 65.

---

*) Alle von den H. H. Karsten und Langsdorf über dieses progressive Steigen des Wassers in Saugröhren gefundene Formeln gründen sich auf eine Voraussetzung, welche in der Natur niemals Statt findet; ich meine, die vollkommenste Dichte der Liederung vom ersten Kolbenzuge an.

Achtes Kapitel.

Anwendung der bisher vorgetragenen Lehren auf die Theorie der Saugpumpen; Bestimmung der zu ihrer Bewegung erforderlichen Kraft für den Beharrungsstand.

§. 63.

Unter allen Maschinen, die man in ältern und neuern Zeiten erfunden und vorgeschlagen hat, Wasser auf eine beträchtliche Höhe zu heben, sind die Pumpen die vortheilhaftesten und gemeinnützigsten. Der Gebrauch der Schöpfräder, der Wasserschnecken, der Püschel- und Scheibenkünste u. a. m. ist blos auf einzelne Fälle und mässige Höhen eingeschränkt, da man sich hingegen bey den wichtigsten Anlagen, z. B. bey Salinen und in Bergwerken, heut zu Tage mit Vortheil durchgehends nur der Pumpen zur Hebung des Wassers bedient.

Man kann die Pumpen überhaupt unter drey verschiedene Klassen eintheilen, die man Saugwerke, Hebwerke und Druckwerke nennt.

Saugwerk ist jede Pumpe, bey deren Spiel der Druck oder eigentlich das Uebergewicht der Atmosphäre eine wirkende Stelle vertritt, oder bey welcher der Kolben in seinem höchsten Stande über der Wasserfläche, aus welcher geschöpft wird, erhoben ist. Hebwerk nenne ich eine Pumpe, in welcher das Wasser, nachdem es durch die Kolbenöfnung getretten ist, von dem steigenden Kolben auf eine beträchtliche Höhe bis zum Ausguß gehoben wird; und Druckwerke sind diejenigen Pumpen, bey welchen das währendem Aufzuge des Kolbens in den Zylinder oder Stiefel eingezogene Wasser durch den Druck des niedergehenden Kolbens in ein zur Seite angebrachtes aufwärts gebogenes Rohr gepreßt wird, welches Steigrohr heißt.

Nun sind zwar die meisten Pumpen so eingerichtet, daß sie alle vereinbarte Saug- und Hebwerke, oder vereinbarte Saug- und Druckwerke vorstellen; indessen kann man obige Benennungen für alle möglichen Anordnungen von Pumpwerken nach dem Maaße beybehalten, als die eine oder die andere Wirkungsart hiebey vorzüglich in Betrachtung kömmt, so daß z. B. eine gewöhnliche Saugpumpe, welche gleich über dem Kolbenrohr ausgießt, oder ein sogenannter niedriger Satz (wie

Fig.

Fig. 28.) schlechthin Saugwerk; eine Saugpumpe hingegen, welche über dem Kolbenrohr noch mit einem Aufsatzrohr von beträchtlicher Höhe versehen ist (ein sogenannter hoher Satz) (Fig. 29.) vereinbartes Saug- und Hebwerk; eine Druckpumpe, welche gar kein Saugrohr, oder doch ein gegen die Höhe der Steigröhre nur sehr kurzes Saugrohr hat, schlechthin Druckwerk (Fig. 30 — 31) endlich eine Druckpumpe mit einer Saugröhre von beträchtlicher Länge oder Höhe (wie Fig. 32—33.) vereinbartes Saug- und Druckwerk hiesse. Ich beschäftige mich in gegenwärtigem Bande nur mit den Pumpen der ersten und zweyten Klasse, vorzüglich in Rücksicht auf ihren Gebrauch beym Bergbau und Salinenwesen.

§. 64.

Da ich Leser voraussetze, welche in den Anfangsgründen der Hydraulik schon unterrichtet, und folglich mit dem gewöhnlichen Mechanismus der Pumpwerke, und den allgemeinen Grundsätzen, auf denen die Wirkung derselben beruht, hinlänglich bekannt sind, so brauche ich hier nicht erst mit einer umständlichen Beschreibung und Erklärung der verschiedenen Theile dieser Maschinen, dergleichen man in allen Lehrbüchern der Hydraulik findet, die Zeit zu verlieren, sondern schreite sogleich zur Anwendung der bisher vorgetragenen Sätze auf die eigentliche Theorie der Saug- und Hebpumpen. Ich übergehe aber hiebey geflissentlich alles, was die Gesetze des allmähligen Steigens des Wassers beym Anfange der Bewegung, vorzüglich bey unvollkommenen Pumpen, betrift, theils, weil dieser Gegenstand von Herrn Hofrath Karsten in seinem Lehrbegriffe fünften Band siebenzehnten Abschnitt, und neuerlich von Herrn Rath Langsdorf in seinem Lehrbuch der Hydraulik, vier und zwanzigsten Kapitel, mit aller nur möglichen Schärfe und Gründlichkeit schon hinlänglich erörtert ist, theils weil mir diese Untersuchungen, so mühsam und artig sie auch seyn mögen, im Grunde doch keinen wahren Nutzen in der Anwendung zu haben scheinen, da man die Wirkung einer Pumpe eigentlich erst, nachdem das Wasser zum Ausguß gekommen ist, zu beurtheilen pflegt. *) Im Vorbeygehen hier nur ein paar Worte über den schädlichen Raum.

§. 65.

---

*) Alle von den H. H. Karsten und Langsdorf über dieses progressive Steigen des Wassers in Saugröhren gefundene Formeln gründen sich auf eine Voraussetzung, welche in der Natur niemals Statt findet; ich meine, die vollkommenste Dichte der Liederung vom ersten Kolbenzuge an.

§. 65.

So pflegt man in Deutschland bekanntermassen bey einer Pumpe denjenigen Raum zu nennen, welcher zwischen dem Kolben in seinem niedrigsten Stande, und dem Ventile oder Thürel unvermeidlich zurückbleibt; und jedermann weiß, daß, wenn eine Saugpumpe, bey welcher im Anfange der ganze Raum unter dem Kolben mit Luft von gemeiner Dichte ausgefüllt ist, zuerst in Gang gesezt wird, eine längere oder kürzere Zeit vergehen muß, oder eine grössere oder geringere Anzahl Kolbenhübe erforderlich ist, ehe das Wasser den steigenden Kolben einholt, je nachdem dieser Raum grösser oder kleiner ist, und daß es sogar ein gewisses Verhältniß dieses Raumes gegen die übrigen Dimensionen der Pumpe geben kann, bey welchem das Wasser durch den Druck der Atmosphäre gar niemals bis an den Kolben zu steigen vermag, wenn gleich das Spiel desselben beständig wiederholt, und in alle Ewigkeit fortgesezt würde. Verschiedene Mathematiker haben daher diesem Raume obigen Beynamen gegeben, und Herr Hofrath Karsten klassifizirt sogar die Grade der Vollkommenheit aller Pumpen nach dem umgekehrten Verhältniße der Grösse dieses Raumes. Nach ihm wäre die unvollkommenste Pumpe diejenige, bey welcher das Ventil in der tiefsten Stelle der Saugröhre angebracht wäre, und die vollkommenste aller Pumpen jene, bey welcher dieser Raum gänzlich verschwände, d. i. wo der Kolben in seinem tiefsten Stande jedesmal das Ventil ganz berühren könnte. Ich muß gestehen, daß mir diese Begriffe von Vollkommenheit keineswegs einleuchten wollen: denn fürs Erste scheint es mir bey einer Maschine, deren Spiel, wenn sie einmal in Gang gesezt worden ist, meistens eine sehr lange Zeit, z. B. in Bergwerken oft mehrere Wochen oder Monate lang, ununterbrochen fortgesezt wird, eben nicht sonderlich darauf anzukommen, ob ihre eigentliche Wirkung nach dem ersten Anlaße der bewegenden Kraft um einige Minuten früher oder später anfange. Zweytens kann man ja durch ein sehr einfaches und leichtes Mittel, welches jedem Kunstknecht bekannt ist, diese Unvollkommenheit oder Verzögerung der Wirkung auch bey der nach Herrn Karsten möglichst unvollkommenen Pumpe gänzlich vermeiden, und den Satz gleich nach den ersten Kolbenzügen zum Ausguß bringen, wenn man nämlich vor dem Anlaß der Maschine von oben in das Kolbenrohr, und durch das aufgehobene Ventil des Kolben so viel Wasser eingießt, daß der ganze Raum unter demselben bis an das Thürel ausgefüllt, und alle Luft daraus verdrängt wird, da dann bey anfangender Bewegung nur noch die Luft im Saug-

rohr

rohr verdünnt werden darf — eine eben so gewöhnliche als bekannte Vorsicht, die ohnehin (besonders wenn die Maschine eine beträchtliche Zeit hindurch stille gestanden hat) auch in der Absicht nöthig ist, die Lederung am Kolben und an den Ventilen (welche, wenn sie trocken und steif geworden, ihren Dienst gänzlich versagt) anzuschwellen und zu erweichen, und ohne welche Vorsicht, unter diesen Umständen, das Wasser auch in der allervollkommensten Pumpe des Herrn Karsten nie bis an die Hälfte der Saugröhre, vielweniger über das Thürel und an den Kolben gebracht werden könnte. Nach meiner Meinung besteht die Vollkommenheit einer Pumpe, wie jeder andern Maschine, darinn: daß wenn sie einmal in ihren beständigen und gleichförmigen Gang gesezt worden ist, der größtmögliche nutzbare Effekt durch sie erhalten, d. i. die größtmögliche Menge Wasser auf die erforderliche Höhe mit dem geringsten Aufwande von Kraft gehoben werde. Auf diese Wirkung hat aber der sogenannte schädliche Raum, sobald die Pumpe einmal auszugiessen anfängt, weiter nicht den geringsten Einfluß, und es ist alsdann bey fortgesextem Spiele, in Rücksicht auf Kraft und Wirkung, völlig einerley, ob der Kolben am Ende eines jeden Hubes ganz bis auf das Ventil niedergehe, oder ob dieses im untersten Theile der Saugröhre angebracht sey. Die angenommene Benennung ist also unbillig, und die darauf gegründete Klassifikation der Güte der Pumpen unrichtig und in einem Lehrbuche wahrhaft schädlich, weil Anfänger dadurch verleitet werden, die Vollkommenheit dieser Maschinen allgemein nach dem umgekehrten Verhältnisse dieses Raumes zu beurtheilen, da doch offenbar eine Pumpe, in Rücksicht auf ihren Effekt, die möglich vollkommenste Einrichtung und doch einen sehr beträchtlichen Raum zwischen dem Kolben in seinem niedrigsten Stande, und dem Ventile haben kann, (wie z. B. bey den englischen Kunstsätzen der Fall ist) und hingegen bey einer andern alle möglichen Fehler im höchsten Grade vereint seyn können, wo dieser Raum äusserst klein ist. Ich schlage daher, (wenn doch jedes Ding seinen Namen haben muß) die gelindere und richtigere Benennung unnützer oder unvermeidlicher Raum vor.

§. 66.

Aufgabe. In dem lothrecht stehenden Zylinder ABCD, (Fig. 34.) welcher mit seiner untern Oefnung BC bis ss unter Wasser steht, steckt eine genau anpassende Scheibe oder Kolben mm;

der ganze Raum des Zylinders unter dem Kolben ist schon mit Wasser angefüllt; die Höhe $sm = h$; die Weite des Zylinders W, und des Gefäßes $MNOQ = A$ ist gegeben. Nun soll der Kolben von mm bis nn auf die Höhe $mn = b$ gehoben werden. Man verlangt die geringst mögliche Zeit, in welcher dieses geschehen kann, so daß das Wasser in dem Zylinder immer mit gleicher Geschwindigkeit nachfolge.

Auflösung. Wenn die Höhe einer Wassersäule, welche dem ganzen Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht hält, k heißt, so begreift man vorläufig, daß die größte Höhe, zu welcher der Kolben, unter der benannten Bedingung, gehoben werden darf, oder $h + b$ wenigstens nicht $> k$ werden darf. Da übrigens die Geschwindigkeit, mit welcher die Wassersäule im Zylinder durch den Druck der Atmosphäre zu steigen vermag, in dem Augenblicke, da die ganze Höhe des Kolbens über dem Wasserspiegel $ss = h + x$ ist, bey einem etwas bedeutenden Werthe von $\frac{A}{W}$, ohne merklichen Fehler

$$v = \frac{2\sqrt{(g\,(k - h - x))}}{\sqrt{B}}$$

angenommen werden kann, wenn B, wie oben §. 51, derjenige beständige Koeffizient der Geschwindigkeitshöhe $\frac{c^2}{4g}$ ist, welcher alle Hindernisse der Bewegung in sich begreift, so reduzirt sich die Auflösung dieser Aufgabe auf den §. 62. angegebenen Fall, und man erhält nach dem dortigen Kalkul, wenn man b statt x sezt,

$$t = \frac{\sqrt{B}}{\sqrt{g}}\left[\sqrt{(k - h)} - \sqrt{(k - h - b)}\right]$$

desto genauer, je grösser B, und je kleiner $k - h - b$ ist.

§. 67.

Wenn unter dem Zylinder $MNOR$ (Fig. 24.) ein Saugrohr $bcde$ von der Weite ω und Länge l, welches oben eine Mündung von der Weite Φ und unten eine Oefnung von der Weite a hat, angebracht ist, so wird nach §. 52.

$$B = 1 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{1}{53\delta}\right) + \frac{W^2}{A^2} - \frac{W^2\varphi}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{A^3}$$

mit Beybehaltung aller dortigen Benennungen; folglich, wenn h die anfängliche lothrechte Entfernung des Kolben in seinem tiefsten Stande vom Wasserspiegel ss, und b die Höhe seines Hubes anzeigt, sehr genau

$$t = \sqrt{\left(1 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{1}{53\delta}\right) + \frac{W^2}{A^2} - \frac{W^2\varphi}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{A^3}\right)} \times \left[\frac{\sqrt{(k-h)} - \sqrt{(k-h-b)}}{\sqrt{g}}\right]$$

wo aber unter φ und a nicht die ganze Weite dieser Oefnungen, sondern nur die zusammengezogenen Querschnitte $\frac{\varphi}{\sqrt{\left(2 - \frac{\varphi}{\omega}\right)}}$ und $\frac{a}{\sqrt{\left(2 - \frac{a}{A}\right)}}$ verstanden werden müssen.

§. 68.

Da die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser vermöge des Druckes der äussern Luft auf die Fläche ss im Zylinder MNOR zu steigen vermag, bey einem etwas beträchtlichen Verhältnisse von A: W, in jedem Augenblicke der Höhe $k - (h + x)$ zugehört, folglich wegen dem immer wachsenden Werthe von x mit jedem Augenblicke abnimmt, so erhellet, daß, wenn nach der angenommenen Bedingung das Wasser dem steigenden Kolben immer mit gleicher Geschwindigkeit nachfolgen sollte, die Geschwindigkeit desselben nach eben demselben Gesetze abnehmen müßte. Wäre in irgend einem Augenblicke der Bewegung die Geschwindigkeit des Kolben $> v$, so müßte die Wasserfläche mn sich von demselben trennen, und es entstünde zwischen beyden ein leerer Raum. Ist hingegen die Geschwindigkeit des Kolben $< v$, so wirkt die Wassersäule von unten noch mit einem Druck gegen denselben, welcher dem Unterschiede beyder Geschwindigkeitshöhen gemäß ist. Es sey die diesem Druck zuständige Höhe $= z$, die Geschwindigkeit des Kolben $= c$, so ist (§. 52.)

z=

$$z = k - (h + x) - B \cdot \frac{c^2}{4g}$$

Weil nun $k - (h + x) = \frac{v^2}{4g} \cdot B$ ist, (§. 66.) so ist auch

$$z = B\left(\frac{v^2 - c^2}{4g}\right)$$

Folglich die Druckhöhe von oben auf den Kolben (§. 52.)

$$\eta = k - z = k - B \cdot \frac{v^2}{4g} + B \cdot \frac{c^2}{4g}$$

$$= h + x + B \cdot \frac{c^2}{4g}$$

Sobald nun $c = v = 2\frac{\sqrt{(g\ (k - h - x))}}{\sqrt{B}}$ wird,

so wird

$$\eta = k.$$

Das heißt: wenn die Geschwindigkeit, mit welcher der Kolben aufwärts gezogen wird, eben so groß ist, als diejenige Geschwindigkeit, mit der das Wasser im Zylinder durch den Druck der Atmosphäre in der Höhe des Kolben zu steigen vermag, so leidet der bewegte Kolben von oben den ganzen Druck der Atmosphäre, wenn auch gleich die Höhe der ihm folgenden Wassersäule viel kleiner als k oder 32 Fuß ist.

So könnte z. B. der Fall eintretten, daß, bey einer nur 20 Fuß hohen Wassersäule unter dem Kolben, der bloß von dem Drucke der Luft auf selben herrührende Widerstand einer 32 Fuß hohen Wassersäule gleich würde. Man sieht hieraus, wie sehr sich diejenigen Hydrauliker geirrt haben, welche behaupten, daß es zur vortheilhaftesten Einrichtung eines Saugwerks gehöre, daß der Kolben gerade mit derselben Geschwindigkeit steige, mit welcher das Wasser ihm nachzufolgen vermag, da vielmehr umgekehrt die Anordnung einer solchen Maschine desto vortheilhafter ist, je grösser der Ueberschuß der dem Wasser zugehörigen Geschwindigkeit

über

über jene des Kolbens ist;*) und es fließt hieraus die Regel: Man lasse die Zeit, in welcher der Kolben von seiner tiefsten bis zur höchsten Stelle gehoben wird, in keinem Falle kleiner als $\frac{\sqrt{B}}{\sqrt{g}}[\sqrt{(k-h)}-\sqrt{(k-h-b)}]$ werden, sondern suche vielmehr, wenn die Zeit t des Kolbenhubes schon bestimmt ist, die Abmessungen der Pumpe so einzurichten, daß der Koeffizient B, so viel möglich, kleiner als

$$\frac{g\,t^2}{\left(\sqrt{(k-h)}-\sqrt{(k-h-b)}\right)^2}$$

ausfalle. (siehe §. 62.)

§. 69.

Aufgabe. In der Saugpumpe Fig. 35, deren Abmessungen alle gegeben sind, ist das Wasser schon über den Kolben bis zur Ausgußstelle D gelangt. Man sucht, für den Beharrungsstand, die Kraft P, welche an der Kolbenstange angebracht werden muß, um denselben mit der Geschwindigkeit c aufwärts zu ziehen.

Auflösung. I. Im Stande der Ruhe drückt auf den Kolben von oben eine doppelte Last, der Druck der Luft, welcher dem Gewichte einer Wassersäule von der

---

*) Ich hörte vor einigen Jahren einen öffentlichen Lehrer der angewandten Mathematik demonstriren, die Weite des Saugrohrs und der Ventilöfnung müsse just so groß seyn, daß das Wasser im Stiefel genau mit derselben Geschwindigkeit steige, mit welcher der Kolben in die Höhe gezogen wird, worüber denn leicht eine Formel zu finden war. Weiter durfte nach seiner Meinung die Saugröhre bey Leibe nicht seyn, "weil sonst das Wasser mit dem Ueberreste seiner Geschwindigkeit an den Kolben von unten prellen, und der bewegenden Kraft zur Unzeit zu Hilfe kommen würde!" Nun ist mir zwar kein Fall bekannt, da auch bey dem größten Verhältnisse der Weite des Saugrohrs zur Weite des Stiefels ein Kolben von dem an seine untere Fläche prellenden Wasser in die Höhe getrieben worden wäre, doch glaube ich, daß ein solcher Schub, wenn er auch wirklich Statt fände, in der Richtung der wirkenden Kraft in irgend einem Augenblicke der Bewegung eben so wenig zur Unzeit käme, als die Bezahlung einer Summe Geldes einem Kaufmanne an irgend einem Tage oder zu irgend einer Stunde zur Unzeit kommen dürfte. Wenn solche Sätze von Professoren für Theorie aufgestellt werden, dann ist es freylich kein Wunder, wenn Praktiker in dem Wahne bleiben, Theorie wäre entbehrlich oder führe wohl gar auf Ungereimtheiten.

der Grundfläche des Kolbens W und der Höhe $\acute{h} + x$ gleich ist, wenn $\acute{h}$ die lothrechte Entfernung des Kolben in seinem niedrigsten Stande vom untern Wasserspiegel s-s bis an die Klappe v und x den zurückgelegten Weg, also beydes zusammen die lothrechte Erhöhung des Kolben in jedem Augenblicke anzeigt; und das Gewicht der Wassersäule, welche über dem Kolben steht; heißt die lothrechte Entfernung des Kolbens in seiner tiefsten Stelle vom Ausguß h, so ist die Höhe dieser Wassersäule in jedem Augenblicke $h - x$, und die Grundfläche $W - r$, wenn r den Querschnitt der im Wasser stehenden Kolbenstange ausdrückt. Es ist demnach die ganze Last auf dem ruhenden Kolben, oder die hydrostatische Last

$$= W\ (\acute{h} + x) + (W - r)\ (h - x)$$
$$= W\ (\acute{h} + h) - r\ (h - x)$$

oder, wenn man die ganze Höhe vom untern Wasserspiegel bis zur Ausgußstelle, Kürze halber, H nennt,

$$= W . H - r\ (h - x)$$

II. Wenn aber der Kolben mit der Geschwindigkeit c aufwärts gezogen wird, so kömmt zu dem Gewichte der gehobenen Wassersäule H noch ein neuer Widerstand, welcher (im Beharrungsstande) dem Gewichte einer Wassersäule von der Grundfläche W und der dieser Geschwindigkeit zugehörigen Höhe multiplizirt mit einem gewissen beständigen Koeffizienten B gleich ist, dessen Werth durch die Abmessungen der Pumpe bestimmt wird. Und dieser Widerstand, welchen ich den hydraulischen nenne, ist, gemäß §. 52, für die unter dem Kolben befindliche Wassersäule,

$$= W . \frac{c^2}{4g} \left[1 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2} \left(1 + \frac{l}{53\,\delta} \right) - \frac{W^2 \Phi}{\omega^3} - \frac{W^2 a}{\omega^3} \right]$$

wenn, wie dort, Φ die (zusammengezogene) Weite der Ventilöfnung, a die (zusammengezogene) Weite der untern Einsaugmündung, ω die Weite des Saugrohrs, l dessen Länge, und δ dessen innern Durchmesser anzeigt, und übrigens der Behälter MNOQ weit genug ist, um das Verhältniß von W gegen dessen Querschnitt A als unbedeutend auſſer Acht lassen zu können. Weil aber auch die über dem Kolben befindliche Wassersäule von demselben mit der Geschwindigkeit c gehoben werden muß,

und

und hieraus ein neuer Druck von der Höhe $\frac{c^2}{4g}\left(1+\frac{h}{53\,D}\right)$ auf die Grundfläche W — r entsteht (wenn D den Durchmesser des Kolbenrohrs anzeigt) so ist eigentlich der ganze hydraulische Widerstand =

$$W:\frac{c^2}{4g}\left[2+\frac{W^2}{\varphi^2}+\frac{W^2}{a^2}+\frac{W^2}{\omega^2}\left(1+\frac{l}{53\,\delta}-\frac{\varphi}{\omega}-\frac{a}{\omega}\right)+\frac{h}{53\,D}\left(1-\frac{r}{W}\right)-\frac{r}{W}\right]$$

Es ergiebt sich demnach für den Beharrungsstand

$$P=WH+W.\frac{c^2}{4g}\left[2+\frac{W^2}{\varphi^2}+\frac{W^2}{a^2}+\frac{W^2}{\omega^2}\left(1+\frac{l}{53\,\delta}-\frac{\varphi}{\omega}-\frac{a}{\omega}\right)+\frac{h}{53\,D}\left(1-\frac{r}{W}\right)-\frac{r}{W}\right]-r\left(h-x\right)$$

In dieser Gleichung sind (unter der Voraussetzung, daß c gleichförmig ist) alle Grössen bestimmt und unveränderlich, ausser x, welches währendem Aufzuge des Kolben mit jedem Augenblicke wächst, und am Ende der ganzen Länge des Hubes = b wird. Man kann daher, da man ohnehin immer auf den größten Widerstand rechnen muß, gleich b statt x setzen.

Bey einem niedern Satze ist die Kolbenstange gemeiniglich ganz von Eisen, mithin $\frac{r}{W}$ ein unbedeutender Bruch desgleichen $\frac{h}{53\,D}$; und, da b beynahe = h wird, so verschwindet das lezte Glied, r (h — b) gänzlich. Man hat demnach für einen niedern Satz

$$P=WH+W.\frac{c^2}{4g}\left[2+\frac{W^2}{\varphi^2}+\frac{W^2}{a^2}+\frac{W^2}{\omega^2}\left(1+\frac{l}{53\,\delta}-\frac{\varphi}{\omega}-\frac{a}{\omega}\right)\right].$$

§. 70.

Aufgabe. In einer Saugpumpe Fig. 35, welche bis zur Stelle des Ausgusses schon ganz mit Wasser angefüllt ist, soll der Kolben,

in

in dessen Mitte eine Ventilöfnung von der Weite μ befindlich ist, von seiner höchsten Stelle mit einer gegebenen Geschwindigkeit u niedergedrückt werden. Man sucht den Widerstand R für den Beharrungsstand.

Auflösung. Wenn die Geschwindigkeit des durch die Oefnung μ strömenden Wassers $= v$, der Querschnitt des Stiefels W, und die Höhe der über dem Kolben stehenden Wassersäule in irgend einer Stellung desselben $h - x$ ist, so leidet der Kolben im Niedergehen gegen seine untere Fläche einen Druck von der Höhe $h - x + \frac{v^2}{4g} + \frac{u^2}{4g}$, (weil er sich den mit der Geschwindigkeit v anprellenden Wassertheilchen noch mit seiner eigenen Geschwindigkeit u entgegen bewegt). Auf seine obere Fläche hingegen wirkt eine andere Pressung von der Höhe $h - x - \frac{u^2}{4g}$ weil er sich von der obern Masse mit der Geschwindigkeit u entfernt (s. d. 1 Kapitel.)

Da nun die untere Fläche des Kolbens $W - \mu$, die obere hingegen $W - \mu - r$ ist, so ist der Druck auf die erste

$$= \left(W - \mu\right)\left(h - x + \frac{v^2}{4g} + \frac{u^2}{4g}\right),$$

und der Druck auf die zweyte

$$= \left(W - \mu - r\right)\left(h - x - \frac{u^2}{4g}\right).$$

Man hat demnach R = der Differenz dieser beyden entgegengesezten Pressungen

$$= \left(W - \mu\right)\left(\frac{v^2}{4g} + 2\frac{u^2}{4g}\right) + r\left(h - x\right) - r \cdot \frac{u^2}{4g}.$$

Es ist aber $v : u = W : \mu$,

$$\text{also} \quad \frac{v^2}{4g} = \frac{u^2}{4g} \cdot \frac{W^2}{\mu^2}$$

Daher

$$R = \left(W - \mu\right)\left[\frac{u^2}{4g}\left(2 + \frac{W^2}{\mu^2}\right)\right] + r\left(h - x\right) - r \cdot \frac{u^2}{4g}$$

$$= \frac{u^2}{4g}$$

$$= \frac{u^2}{4g}\left(2W + \frac{W^3}{\mu^2} - 2\mu - \frac{W^2}{\mu} - r\right) + r\left(h - x\right)$$

$$= W \cdot \frac{u^2}{4g}\left(2 + \frac{W^2}{\mu^2} - 2\frac{\mu}{W} - \frac{W}{\mu} - \frac{r}{W}\right) + \left(h - x\right)$$

Diese Formel bezieht sich eigentlich nur auf Kolben mit Klappenventilen, deren Hub durch ihre eigene Schwere begränzt wird, und die frey und ungehindert spielen. Bey den sogenannten Muschel- oder Kegelventilen, so wie bey der gewöhnlichen Scheibenliederung drückt das Wasser, nachdem es das Ventil oder die Scheibe aufgestossen, gegen die untere Fläche desselben eben so wie gegen die ringförmige Fläche des Kolbens, so daß die ganze von unten gedrückte Fläche = W statt W — μ, folglich

$$R = W \cdot \frac{u^2}{4g}\left(2 + \frac{W^2}{\mu^2} - \frac{r}{W}\right) + r\left(h - x\right)$$

wird. Es ist aber hiebey unter μ keineswegs die ganze Weite der Ventilöfnung, sondern eigentlich jene viel kleinere Seitenöfnung zu verstehen, welche die schwere, mithin nur auf eine geringe Höhe sich erhebende Klappe dem durchziehenden Wasser darbietet, und welche durch die Zusammenziehung des Wasserstrahls noch mehr verengert wird.

Man sieht hieraus, wie beträchtlich dieser Widerstand (besonders bey einem etwas raschen Gange der Maschine) werden kann, wenn die Ventilöfnungen in den Kolben, nach altem deutschen Herkommen, zu enge gemacht werden, und wie unnütz durch eine solche fehlerhafte Einrichtung die bewegende Kraft verschwendet wird, da der Kolben im Niedergehen eigentlich gar keine (nutzbare) Wirkung leistet (wenigstens wenn die Dicke der Kolbenstange nicht sehr beträchtlich im Verhältniß gegen die Weite des Stiefels ist) mithin die auf seine Bewegung während dieser Zeit zu verwendende Kraft ohnehin, in Rücksicht auf den Effekt, allemal ganz reiner Verlust ist.

Anmerkung. Wenn man über diesen Widerstand an einem sogenannten niedern Satze nach denen von Calvör, Delius, Poda, Cankrin und andern praktischen Schriftstellern angegebenen Einrichtungen und Dimensionen der Kolben, und so, wie man sie noch heutiges Tages auf dem Harze, und in den meisten deutschen Gruben und Salinen findet, eine Berechnung anstellt, so kann man sich von der Wahrheit dessen, was ich hier bemerkt habe, leicht überzeugen. Besonders aber trift dieser Vorwurf die in Deutschland noch häufig üblichen Scheibenkolben, bey welchen das Wasser sich durch einige wenige sehr enge Löcher (deren Querschnitte zusammengenommen manchmal kaum den zwanzigsten Theil der Kolbenfläche ausmachen) durchzwängen, und noch überdieß die darüber geschraubte aus vierfach zusammengenähten Pfundleder bestehende, im höchsten Grad steife und unbiegsame Scheibe aufdrücken, solche rings an ihrem Rande aufwärts beugen, und nach vielfältigen nicht leicht zu berechnenden Stössen endlich seitwärts durch die noch engere zwischen dem Kolbenrohr und der Scheibe (welche beym Aufzuge des Kolbens auf eine sehr einfache, dabey aber auch höchst einfältige, Art zugleich die Stelle der Lederung vertritt) so äusserst mühsam erzwungene ringförmige Oefnung entwischen muß. Aus der Summe aller dieser vervielfältigten Hindernisse muß dann freylich nothwendigerweise ein sehr bedeutender Widerstand entstehen, der selbst bey dem gewöhnlichen äusserst langsamen schleichenden Gange dieser Maschinen in einzelnen Fällen der gesammten Wasserlast beym Aufzuge des Kolben sehr nahe kommen, oder solche wohl gar übertreffen kann. Wie mir dann auch wirklich ein Fall bekannt ist, da durch diesen Widerstand von einigen neu gelederten übereinander stehenden Sätzen das unmittelbar darüber gehängte schwere Kunstrad bey seinem ersten Umlaufe aus seinem Zapfenlager heraus gehoben ward! —

Solche Pumpen sind dann freylich, wiewohl in einem verkehrten Sinne, vereinbarte Saug- und Druckwerke, oder richtiger: vereinbarte Saug- und Preßwerke. Und da der Widerstand dieser Kolben beym Niedergange im Verhältniß der Quadrate ihrer Geschwindigkeiten wächst, so wird es wohl begreiflich, warum der Gang einer so unkünstlich eingerichteten Kunst auch beym überflüssigsten Aufschlagwasser nicht merklich beschleunigt, und folglich der Zweck des Gewältigens durch solche beynahe gar nicht erreicht werden kann. Wie wäre dieß auch mit Kolben dieser Art möglich, welche vielmehr ihrer Natur nach selbst die beste

und

und sicherste Premsung gegen alle Gefahren einer zu schnellen Bewegung sind? — Was aber ungleich schwerer hiebey zu begreifen scheint, ist der unheilbare Eigensinn, und die durch die gröbste Ignoranz kaum zu entschuldigende Dummheit einer Klasse von Handwerkern, die sich Kunstmeister nennen, und das ihnen zur möglich größten Wirkung anvertraute Kraft- und Anlagskapital (recht als geschäh' es aller Theorie, oder vielmehr aller gesunden Vernunft zum Trotze) beym Bau solcher Wasserkünste auf die unverzeihlichste Art verschwenden; und zum Theil auch mit die sorglose Gleichgiltigkeit derjenigen, welche die Anlage so äusserst wichtiger Maschinen dergleichen wandelnden Maschinen so maschinenmässig überlassen. —

Neuntes

Neuntes Kapitel.

Nähere Bestimmung der zur Bewegung der Kolben erforderlichen Kraft mit Rücksicht auf die Trägheit der bey jedem Hube von neuem in Bewegung zu setzenden schweren Massen.

§. 71.

Aufgabe. Es sind alle Dimensionen an einer vereinbarten Saug- und Hebpumpe, nebst der an dem Kolben angebrachten (beständigen) Kraft gegeben. Man sucht die Beschleunigung des Kolbens bey seinem Aufzuge.

Auflösung. Die auf den Kolben wirkende beständige Kraft sey = P; der ganze Widerstand, welchen die bewegte Wassersäule auf den Kolben ausübt, mit Inbegriff der Friktion seiner Lederung = Q; die Summe der Momente der Trägheit aller mit dem Kolben zugleich in Bewegung gesezten Massen, auf das statische Moment der Kolbenstange reduzirt, = M; so ist nach den Lehren der Mechanik die Beschleunigung desselben

$$f = g \cdot \frac{P - Q}{M}$$

Weil nun die bewegende Kraft, nebst dem hydrostatischen Druck der Wassersäule WH, auch noch den hydraulischen Widerstand (§. 69.) und die Friktion zu überwinden hat, so muß, wenn V die größte Geschwindigkeit ist, welche der Kolben im Beharrungsstande erreichen kann,

$$P = WH + W \cdot \frac{V^2}{4g} \cdot B + F$$

seyn, wenn B den von den Verhältnissen der verschiedenen Theile der Pumpe abhangenden beständigen Koeffizienten des hydraulischen Widerstandes, und F die Friktion

tion des Kolben an der innern Stiefelwand anzeigt. Ist nun c diejenige (veränderliche) Geschwindigkeit mit welcher der Kolben wirklich bewegt wird, so hat man

$$Q = WH + W \cdot \frac{c^2}{4g} \cdot B + F,$$

Folglich

$$f = g \cdot \left[\frac{WB\left(\frac{V^2}{4g} - \frac{c^2}{4g}\right)}{M} \right]$$

$$= \frac{WB}{4M}\left(V^2 - c^2\right).$$

Sezt man M = einer Wassersäule von der Höhe v auf der Grundfläche W, so ergiebt sich

$$f = \frac{B}{4v}\left(V^2 - c^2\right).$$

§. 72.

Aufgabe. Unter den vorigen Bedingungen die Zeit τ zu finden, welche vom Anfange der Bewegung verfliessen muß, bis dieselbe gleichförmig wird.

Auflösung. Nach der allgemeinen mechanischen Formel $c = 2gt$ setze man hier

$$c = 2f\tau$$

also $dc = 2f \cdot d\tau$,

so ist, wenn man den im lezten §. gefundenen Werth von f substituirt,

$$dc = \frac{B}{2v}\left(V^2 - c^2\right) d\tau$$

und

$$d\tau = \frac{2v \cdot dc}{B(V^2 - c^2)}$$

$$= 2v$$

$$= \frac{2 \cdot v \, dc}{B} \left(\frac{1}{V^2 - c^2} \right)$$

$$= \frac{2 v}{B \cdot 2 V} \left(\frac{dc}{V + c} + \frac{dc}{V - c} \right)$$

$$= \frac{v}{B V} \left(\frac{dc}{V + c} - \frac{-dc}{V - c} \right)$$

Die Integration giebt

$$\tau = \frac{v}{BV} \cdot \text{lognat} \left(\frac{V + c}{V - c} \right.$$

ohne Konstante, weil für $\tau = o$, auch $c = o$ ist.

Sezt man in dieser Gleichung $c = V$, so findet man $\tau = \infty$; das heißt: die Bewegung beschleunigt sich ohne Ende, und wird niemals gleichförmig.

§. 73.

Man setze $c = o,99 \cdot V$, so wird lognat $\left(\frac{V + c}{V - c} \right. = \text{lognat } 199 = 5,2933$, mithin die Zeit

$$\tau = 5,2933 \cdot \frac{v}{B \cdot V}.$$

Weil nun $P = W \left(H + B \frac{V^2}{4g} \right) + F$ ist (§. 71.)

so ist

$$V = \frac{2 \sqrt{(g (P - F - WH))}}{\sqrt{BW)}}$$

Folglich $\tau = \frac{5,2933 \cdot v \sqrt{BW)}}{2 \sqrt{g} \cdot \sqrt{(P - F - WH) B}}$

$$= \frac{2,6466 \cdot v}{\sqrt{\left[g B \left(\frac{P - F - WH}{W} \right) \right]}}$$

Wenn

Wenn man die Kraft P durch eine Wassersäule von der Höhe η auf der Grundfläche W, und den Widerstand der Reibung F durch eine Wassersäule von gleicher Grundfläche und der Höhe ρ ausdrückt, so hat man $\frac{P}{W} = \eta$, und $\frac{F}{W} = \rho$, folglich

$$\tau = \frac{2,6466 \cdot v}{\sqrt{[g\,B\,(\eta - \rho - H)]}}$$

zu einem Beyspiel sey $v = 100$; $\eta = 60$; $\rho = 4$; $H = 50$; $B = 600$, und $g = 15,09$, so findet man

$$\tau = \frac{264}{233} = 1\tfrac{1}{7}.$$

Nach Verlauf von $1\frac{1}{7}$ Sekunde wäre demnach die Geschwindigkeit des steigenden Kolben nur noch um $\frac{1}{100}$ Theilchen kleiner als jene, welche dem Stande der Beharrung zukömmt, und ihre Beschleunigung ist in den folgenden Sekunden so unmerklich, daß man sie am Ende dieser Zeit, ohne allen merklichen Fehler als gleichförmig und $= V = \frac{2\sqrt{[g\,(\eta - \rho - H)]}}{\sqrt{B}}$ betrachten kann.

§. 74.

Die Betrachtung der lezten Formel

$$\tau = \frac{2,6466 \cdot v}{\sqrt{[g\,B\,(\eta - \rho - H)]}}$$

zeigt, daß τ desto kleiner wird, je kleiner v, und je grösser B und $\eta - (H + \rho)$ ist: und hieraus erhellet, daß die Bewegung des Kolbens desto früher beynahe gleichförmig wird, 1° je geringer die Summe aller in Bewegung zu setzenden Massen ist; 2° je mehr Hindernisse die steigende Wassersäule in ihrer Bewegung durch die Saugröhre, Ventilöfnungen u. d. gl. antrift; 3° je grösser das Uebergewicht der Kraft über die hydrostatische Last und die Reibung ist.

§. 75.

Aufgabe. An einer vereinbarten Saug- und Hebpumpe sind alle Abmessungen nebst der bewegenden (beständigen) Kraft gegeben. Man sucht den Weg s, welchen der steigende Kolben während der Zeit t zurücklegt.

Auflö.

Auflösung. I. Man kann in dem unendlich kleinen Zeittheilchen dt die Geschwindigkeit des Kolben c für gleichförmig ansehen, folglich

$$ds = c\,dt,$$

und

$$dt = \frac{ds}{c}$$

setzen. Weil nun auch $dc = 2f\,dt$ ist, so hat man

$$dc = 2f \cdot \frac{ds}{c}$$

und

$$ds = \frac{c\,dc}{2f}.$$

Der oben §. 71. gefundene Werth von f in diese Gleichung gesezt, giebt

$$ds = \frac{c\,dc}{2 \cdot \frac{B}{4v}\left(V^2 - c^2\right)}$$

$$= \frac{2\frac{v}{B} \cdot c\,dc}{V^2 - c^2}$$

$$= -\frac{2\frac{v}{B} \cdot c\,dc}{c^2 - V^2}$$

$$= -\frac{v}{B} \cdot \frac{d\,(c^2 - V^2)}{c^2 - V^2}.$$

Die Integration giebt

$$s = -\frac{v}{B} \cdot \text{lognat}\left(c^2 - V^2\right) + \text{Const.}$$

Da nun für $s = o$ auch $c = o$ ist, so hat man

$$s = -\frac{v}{B} \cdot \text{lognat}\left(\frac{c^2 - V^2}{-V^2}\right)$$

$$= -$$

$$= -\frac{v}{B} \cdot \text{lognat} \left(\frac{V^2 - c^2}{V^2} \right)$$

$$= \frac{v}{B} \cdot \text{lognat} \frac{V^2}{V^2 - c^2} .$$

II. Weil nun V eine beständige Grösse, c aber veränderlich und eine Funktion von t ist, so kömmt es noch darauf an, eine Gleichung zwischen c und t zu finden.

Nach §. 72. haben wir

$$t = \frac{v}{BV} \cdot \text{lognat} \left[\frac{V + c}{V - c} \right.$$

Nun sey A der Modul des briggischen logarithmischen Systems, so ist

$$\text{lognat} \left[\frac{V + c}{V - c} = \frac{\text{log.vulg.} \left[\frac{V + c}{V - c} \right.}{A} \right.$$

Ist ferner E die Grundzahl des natürlichen Systems, so ist $A = \log E$, also

$$\text{lognat} \left[\frac{V + c}{V - c} = \frac{\log. \left[\frac{V + c}{V - c} \right.}{\log E} \right.$$

Folglich $$t = \frac{v}{BV} \cdot \frac{\log \left[\frac{V + c}{V - c} \right.}{\log E}$$

und $$t. \log E = \frac{v}{BV} \cdot \log \left[\frac{V + c}{V - c} \right.$$

oder $$\log E^t = \log \left(\frac{V + c}{V - c} \right)^{\frac{v}{BV}}$$

also $$E^t = \left(\frac{V + c}{V - c} \right)^{\frac{v}{BV}}$$

und $$\frac{\frac{tBV}{E^{v}}}{} = \frac{V+c}{V-c}$$

Daher

$$E^{\frac{tBV}{v}} \cdot V - E^{\frac{tBV}{v}} \cdot c = V + c,$$

woraus sich

$$c = V. \left[\frac{E^{\frac{tBV}{v}} - 1}{E^{\frac{tBV}{v}} + 1} \right]$$

und $$c^2 = V^2. \left[\frac{E^{\frac{tBV}{v}} - 1}{E^{\frac{tBV}{v}} + 1} \right]^2$$

ergiebt.

III. Wenn man diesen Werth für c^2 in die obige Gleichung von s (I) setzt, so erhält man endlich

$$s = \frac{v}{B} \cdot \text{lognat} \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{E^{\frac{tBV}{v}} - 1}{E^{\frac{tBV}{v}} + 1} \right)^2} \right]$$

$$= \frac{v}{B} \cdot \text{lognat} \left[\frac{\left(E^{\frac{tBV}{v}} + 1 \right)^2}{4 E^{\frac{tBV}{v}}} \right]$$

$$= 2 \frac{v}{B} \cdot \text{lognat} \left[\frac{E^{\frac{tBV}{v}} + 1}{2 E^{\frac{tBV}{2v}}} \right].$$

§. 76.

Aufgabe. Unter den vorigen Bedingungen die Zeit t zu finden, binnen welcher der Kolben den gegebenen Weg s zurücklegt.

Auflösung. Aus der Gleichung $s = \frac{v}{B}$ lognat $\frac{V^2}{V^2 - c^2}$ (§. 75. I.) folgt

$$s \,.\, \text{lognat}\, E = \text{lognat} \left(\frac{V^2}{V^2 - c^2} \right)^{\frac{v}{B}}$$

(weil der natürliche Logarithmus von $E = 1$ ist) also

$$E^s = \left(\frac{V^2}{V^2 - c^2} \right)^{\frac{v}{B}}$$

und

$$E^{\frac{sB}{v}} = \frac{V^2}{V^2 - c^2}$$

Hieraus findet man

$$c^2 = V^2 \left(\frac{E^{\frac{sB}{v}} - 1}{E^{\frac{sB}{v}}} \right)$$

und

$$c = V \,.\, \frac{\sqrt{\left(E^{\frac{sB}{v}} - 1 \right)}}{E^{\frac{sB}{2v}}}$$

Wenn man diesen Werth von c in die erste Gleichung für t (§. 72.) setzt, so erhält man

$$t = \frac{v}{BV} \,.\, \text{lognat} \left\{ \frac{1 + \frac{\sqrt{\left(E^{\frac{sB}{v}} - 1 \right)}}{E^{\frac{sB}{2v}}}}{1 - \frac{\sqrt{\left(E^{\frac{sB}{v}} - 1 \right)}}{E^{\frac{sB}{2v}}}} \right\}$$

oder

oder

$$t = \frac{v}{BV} \cdot \text{lognat} \left[\frac{E^{\frac{sB}{v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{sB}{v}} - 1\right)}}{E^{\frac{sB}{2v}} - \sqrt{\left(E^{\frac{sB}{v}} - 1\right)}} \right]$$

§. 77.

Aufgabe. Alle Abmessungen einer Saug- und Hebpumpe sind gegeben, nebst der Länge des Kolbenhubes b, und der Zeit t, in welcher er vollendet werden soll. Man sucht die erforderliche Kraft P oder W_η.

Auflösung. Nach der lezten Gleichung wird

$$V = \frac{v}{Bt} \cdot \text{lognat} \left[\frac{E^{\frac{bB}{v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}}{E^{\frac{bB}{2v}} - \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}} \right]$$

wenn man für den zurückgelegten Raum, b statt s sezt. Es ist aber auch

$$V = \frac{2\sqrt{(g(\eta - \rho - H))}}{\sqrt{B}} \qquad (\S. 73.)$$

also

$$\frac{4g}{B}\left(\eta - \rho - H\right) = \frac{v^2}{B^2 . t^2} \left[\text{lognat} \frac{E^{\frac{bB}{v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}}{E^{\frac{bB}{2v}} - \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}} \right]^2$$

woraus sich

$$\eta = \frac{P}{W} = H + \rho + \frac{v^2}{4g t^2 . B} \left[\text{lognat} \frac{E^{\frac{bB}{v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}}{E^{\frac{bB}{2v}} - \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}} \right]^2$$

ergiebt.

§. 78.

Das lezte Glied der lezten Gleichung drückt die zur Bewegung eigentlich erforderliche Kraft, oder den Widerstand aus, welchen die Bewegung der gehobenen

benen Wassersäule und übrigen schweren Massen verursacht, und man sieht, daß dieser Widerstand im verkehrten Verhältniß mit der Zeit steht, in welcher der Kolbenhub vollendet wird.

Man setze zum Beyspiel, bey einer vereinbarten Saug- und Hebpumpe sey $\frac{W}{\omega} = 9$; $\frac{W}{\phi} = 16$; $\frac{W}{a} = 9$; $l = 28'$; und $\delta = 4'' = \frac{1}{3}'$, so ist nach §. 69.

$$B = 2 + 256 + 81\left(1 + \frac{28}{53\frac{1}{3}}\right) - 81 \cdot 0{,}562$$

$= 413{,}7$, wofür man 414 setzen kann.

Ferner sey $b = 3'$, und $v = 150$, so wird $\frac{bB}{v} = \frac{1242}{150} = 8{,}28$; und $\frac{bB}{2v} = 4{,}14$, daher

$$E^{\frac{bB}{v}} = 3944{,}194,$$

und $E^{\frac{bB}{2v}} = 62{,}8028$ *)

Dieß giebt

$$\frac{E^{\frac{bB}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}}{E^{\frac{bB}{2v}} - \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}} = \frac{62{,}8028 + \sqrt{3943{,}194}}{62{,}8028 - \sqrt{3943{,}194}}$$

$$= \frac{62{,}8028 + 62{,}7962}{62{,}8028 - 62{,}7962} = \frac{125{,}599}{0{,}0064} = 19624.$$

Hievon ist der gemeine Logarithmus 4,2927875, also der natürliche Log =

2,30258509 × 4,2927875 =

9,8845081 .... und das Quadrat hievon 97,71.

Nennt

*) Zur Bequemlichkeit bey dergleichen Berechnungen findet man in den Vega'schen und andern logar. Tabellen eine besondere Tafel, worinn die Potenzen der Grundzahl der natürlichen Logarithmen von 0,01 bis 10 und weiter berechnet sind.

Nennt man demnach die Höhe derjenigen Wassersäule, deren Gewicht auf der Fläche des Kolbens dem ganzen Widerstande der Bewegung gleich ist, z, so ist für diesen Fall (nach Pariſermaße)

$$z = \frac{150^2}{4 \cdot 15,09 \cdot 414\, t^2} \cdot 97,71 = \frac{2198475}{24989 \cdot t^2}$$

$$= \frac{83,5}{t^2}$$

also für t = 4 Sekunden, z = 5,21 Fuß

für t = 3 ——— z = 9,27 —

für t = 2 ——— z = 20,875 — u. s. f.

Man sieht aus diesem Beyspiele, wie sehr beträchtlich bey einer nach gewöhnlicher Art eingerichteten Saugpumpe der von dem Durchzuge des Wassers durch die Saugröhren und Ventilöfnung und von der Trägheit der jedesmal von neuem in Bewegung gesezten Wassersäule und übrigen schweren Massen herrührende Widerstand, besonders bey einem etwas lebhaftern Gange der Maschine, werden kann, und wie sehr sich diejenigen betrügen, welche glauben, zur Berechnung einer hydraulischen Maschine wären keine Kenntnisse in der höhern Mathematik erfordert, und man könnte mit der (freylich sehr leichten) Berechnung der hydrostatischen Last, welcher man, fürs Uebergewicht, blindlings etwas weniges zugiebt, allerdings zurechte kommen.

§. 79.

Da es indessen bey einer Maschine im Grossen, wo ohnehin viele Grössen (wie z. B. ρ) mehr geschäzt als genau bestimmt werden können, auf die strengste mathematische Schärfe auch nicht ankömmt, hingegen für die Anwendung einen wesentlichen Vortheil gewährt, wenn die Hauptformeln zur Auflösung der wichtigsten Aufgaben so einfach und geschmeidig als möglich eingerichtet sind, so kann der lezten Aufgabe (§. 77.) noch auf folgende Art Genüge geschehen.

I) Aus §. 73. erhellet, daß, auch bey einem ziemlich beträchtlichen Werthe von v, die Geschwindigkeit des steigenden Kolben sehr bald nach dem Anfange der Bewegung beynahe gleichförmig wird. Wenn $c = 0,99\, V$ geworden ist, beträgt

der

der Unterschied nur noch $\frac{1}{100}$ Theilchen, welches, da ohnehin c selten grösser, als 2 bis 3 Fuß angenommen werden kann, so viel als nichts bedeutet. Man darf daher, sobald $c = 0,99 . V$ geworden ist, von diesem Augenblicke an die Maschine im Beharrungsstand, und die Bewegung als gleichförmig ansehen, und die hiezu nöthige Zeit allgemein, nach §. 73,

$$\tau = \frac{2,6466 . v}{\sqrt{(gB(\eta - \rho - H))}} \text{ setzen,}$$

oder, weil $\eta - \rho - H =$ dem ganzen Uebergewichte $= z$ ist,

$$\tau = \frac{2,6466 . v}{\sqrt{gBz}}.$$

II) Der in dieser Zeit zurückgelegte Raum ist zu Folge §. 75.

$$s = \frac{v}{B} . \text{lognat.} \frac{V^2}{V^2 - c^2}$$

also, wenn $c = 0,99 . V$ ist,

$$s = \frac{v}{B} . \text{lognat} \frac{1}{1 - 0,9801}$$

$$= \frac{v}{B} . \text{lognat } 50,25$$

$$= \frac{v}{B} . 3,917.$$

III) Nach Verfluß der Zeit τ kann man nunmehr, ohne allen merklichen Fehler, die Geschwindigkeit des Kolben

$$c = V = \frac{2\sqrt{[g(\eta - H - \rho)]}}{\sqrt{B}}$$

$$= \frac{2\sqrt{gz}}{\sqrt{B}},$$

und, wenn τ' die noch übrige Zeit seiner Bewegung ausdrückt, den in derselben zurückgelegten Weg

$$c = V\tau'$$

setzen.

setzen. Heißt die ganze Zeit des Kolbenhubes t, der ganze Weg, oder die Länge des ganzen Hubes b, so hat man demnach

$$b = s + e = s + V\tau$$

$$= 3,917\,\frac{v}{B} + V\left(t - \tau\right)$$

Weil nun $\tau = 2,6466\,\frac{v}{\sqrt{g\,B\,z}}$ ist (I) so wird

$$b = 3,917\,\frac{v}{B} + \frac{2\sqrt{g\,z}}{\sqrt{B}}\left(t - 2,6466\,\frac{v}{\sqrt{g\,B\,z}}\right)$$

$$= 3,917\,\frac{v}{B} + 2t.\,\frac{\sqrt{g\,z}}{\sqrt{B}} - 5,2932\,\frac{v}{B}$$

$$= 2\,t.\,\frac{\sqrt{g\,z}}{\sqrt{B}} - 1,3762\,.\,\frac{v}{B}\,,$$

woraus sich

$$z = \frac{B}{4\,g\,t^2}\left(b + 1,3762\,.\,\frac{v}{B}\right)^2$$

ergiebt.

Wenn man in dieser Formel z. B. die im §. 78. angenommenen Werthe von B, b, v und g substituirt, so findet man

$$z = \frac{83,9}{t^2}$$

welches sehr genau mit dem dort durch eine viel weitläuftigere Rechnung erhaltenen Resultate übereinstimmt.

§. 80.

Die lezte Gleichung für z läßt sich auch unmittelbar aus dem §. 75. gefundenen Werthe von

$$s = 2\,\frac{v}{B}\,.\,\text{lognat}\left[\frac{E^{\frac{tBV}{v}} + 1}{2\,E^{\frac{tBV}{2v}}}\right]$$

herlei-

herleiten. Denn da in den meisten Fällen $E^{\frac{tBV}{v}}$ eine so beträchtliche Zahl wird, daß die Einheit dagegen als unbedeutend vernachlässigt werden darf, so kann man, ohne merklichen Fehler, $E^{\frac{tBV}{v}}$ statt $E^{\frac{tBV}{v}} + 1$, mithin

$$s = 2\frac{v}{B} \cdot \text{lognat} \frac{E^{\frac{tBV}{v}}}{2E^{\frac{tBV}{2v}}}$$

$$= 2\frac{v}{B} \cdot \text{lognat} \frac{E^{\frac{tBV}{2v}}}{2}$$

$$= 2\frac{v}{B}\left(\text{lognat } E^{\frac{tBV}{2v}} - \text{lognat } 2\right)$$

setzen. Ist nun N diejenige Zahl, deren natürlicher Logarithmus $\frac{tBV}{v}$ ist, so hat man

$$s = 2\frac{v}{B}\left(\tfrac{1}{2}\,\text{lognat N} - \text{lognat } 2\right)$$

$$\frac{sB}{2v} = \tfrac{1}{2}\,\text{lognat N} - \text{lognat } 2,$$

Daher

$$\text{lognat N} = \frac{sB}{v} + 2\,\text{lognat } 2$$

oder

$$\frac{tBV}{v} = \frac{sB}{v} + 2\,\text{lognat } 2,$$

$$= \frac{sB}{v} + 1,38629.$$

Dieß giebt

$$V = \left(\frac{s + 1,38629\frac{v}{B}}{t}\right)$$

Es ist aber $V = \frac{2\sqrt{gz}}{\sqrt{B}}$,

Bayerische Staatsbibliothek München

Folglich, wenn man b statt s sezt;

$$z = \frac{B}{4gt^2}\left(b + 1{,}38629\,\frac{v}{B}\right)^2$$

§. 81.

Weil

$$\left(b + 1{,}38629\,\frac{v}{B}\right)^2 = b^2 + 2{,}77258\,\frac{bv}{B} + 1{,}92171996\,.\,\frac{v^2}{B^2},$$

so ist auch

$$z = B\,.\,\frac{b^2}{4gt^2} + \frac{2{,}77258\,.\,b\,v + 1{,}92171996\,.\,\frac{v^2}{B}}{4gt^2}$$

$$= B\,.\,\frac{b^2}{4gt^2} + \frac{v}{4gt^2}\left(2{,}77\,..\,b + 1{,}92\,..\,\frac{v}{B}\right)$$

Wenn nun gar keine Beschleunigung Statt fände, und die Geschwindigkeit des Kolbens vom Anfange bis zum Ende des Hubes gleichförmig $= c$ wäre, so hätte man $ct = b$, und $\frac{b}{t} = c$, also $\frac{c^2}{4g} = \frac{b}{4gt^2}$ und $B\,.\,\frac{c^2}{4g} = B\,.\,\frac{b^2}{4gt^2}$, welches das ganze auf die Bewegung des Kolbens zu verwendende Uebergewicht wäre. Wegen des Widerstandes der Trägheit der mit dem Kolben zugleich in Bewegung zu setzenden (flüssigen und festen) Massen, muß indessen dieses Uebergewicht noch um

$$\frac{v}{4gt^2}\left(2{,}77\,..\,b + 1{,}92\,..\,\frac{v}{B}\right)$$

vermehrt werden. Der gesammte Widerstand, welchen die bewegende Kraft beym Hube des Kolbens überwinden muß, zerfällt solchergestalt in drey Theile:

die hydrostatische Last $W\,.\,H$,

den hydraulischen Widerstand $W\,.\,B\,.\,\frac{b^2}{4gt^2}$,

den mechanischen Widerstand

$$W\,.\,\frac{v}{4gt^2}\left(2{,}77\,.\,b + 1{,}92\,.\,\frac{v}{B}\right)$$

wozu noch der Widerstand der Reibung des Kolbens an der innern Stiefelwand, $W\,.\,\rho$ kömmt.

§. 82.

§. 82.

Aufgabe. Die Dimensionen des Kolbens einer Saugpumpe, nebst der (beständigen) Kraft p, welche ihn niederdrückt, sind gegeben; man sucht die Beschleunigung seiner Bewegung.

Auflösung. Heißt der ganze Widerstand gegen den niedergehenden Kolben R, die mit dem Kolben in Bewegung zu setzende Masse M, so ist, dafern die Kraft p zu den beständigen gehört, die Beschleunigung derselben

$$f = g \cdot \left(\frac{p - R}{M} \right)$$

Nun sey U die Geschwindigkeit, mit welcher der Kolben niedergehen würde, wenn der gesammte Widerstand mit der bewegenden Kraft schon im Gleichgewicht wäre, oder seine Geschwindigkeit für den Beharrungsstand; u seine wirkliche (veränderliche) Geschwindigkeit, und K der beständige Koeffizient des Widerstandes (§. 70). Ferner sey ρ die Höhe einer Wassersäule, welche auf der Fläche des Kolbens dem Widerstande seiner Reibung gleich ist, und y die Höhe derjenigen Wassersäule, deren Gewicht auf der Grundfläche W der bewegenden Kraft p gleich ist; so hat man

$$p = Wy = W \left(K \cdot \frac{U^2}{4g} + \rho \right)$$

und $$R = W \left(K \cdot \frac{u^2}{4g} + \rho \right)$$

Folglich

$$f = g \cdot \frac{W \left(K \cdot \frac{U^2}{4g} + \rho \right) - W \left(K \cdot \frac{u^2}{4g} + \rho \right)}{M}$$

$$= \frac{WK}{4M} \left(U^2 - u^2 \right),$$

und,

und, wenn man M einer Wassersäule von der Grundfläche W und Höhe m gleich sezt,

$$f = \frac{K}{4m}\left(U^2 - u^2\right).$$

§. 83.

Aufgabe. Die Dimensionen des Kolbens, die Länge des Schubes b, und die Zeit t, in welcher dieser vollendet werden soll, sind gegeben. Man sucht die nöthige Kraft p.

Auflösung. I) Wenn man, nach der allgemeinen mechanischen Formel $dc = 2g\,dt$, hier

$$du = 2f.dt$$

$$= \frac{K}{2m}\left(U^2 - u^2\right)dt$$

sezt, so findet man

$$t = \frac{m}{KU}.\ \text{lognat}\left[\frac{U + u}{U - u}\right] \quad (\S.\ 75.)$$

II) Ist E die Zahl, deren natürlicher Logarithme = 1 ist, so hat man (nach §. 75 — 76.)

$$u = U.\ \frac{\sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}}{E^{\frac{Kb}{2m}}},$$

und, wenn man diesen Werth statt u in die lezte Gleichung für t sezt,

$$t = \frac{m}{KU}.\ \text{lognat}\left[\frac{E^{\frac{Kb}{2m}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}}{E^{\frac{Kb}{2m}} - \sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}}\right]$$

III) Weil

III) Weil nun $U = \frac{2\sqrt{g\,y}}{\sqrt{K}}$ ist, so wird

$$y = \frac{p}{W} = \frac{m^2}{4\,g\,t^2 . K}\left[\text{lognat}\,\frac{E^{\frac{Kb}{2m}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}}{E^{\frac{Kb}{2m}} - \sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}}\right]^2$$

Diese Gleichung giebt den vereinten hydraulischen und mechanischen Widerstand gegen den niedergehenden Kolben für jeden Fall vollkommen genau, und man sollte sich daher, besonders bey einem beträchtlichen Werthe von m, um so mehr an solche halten, als die Beschleunigung beym Niedergange des Kolben, wegen des geringern Widerstandes (wenn anders die Ventilöfnung nicht zu eng ist) allemal weit beträchtlicher ist, als beym Aufzuge. Indessen kann man sich in allen Fällen, da der Werth des Exponenten $\frac{Kb}{m}$ nicht kleiner als 2 ausfällt, der kürzern und bequemern Formel

$$y = \frac{K}{4\,g\,t^2}\left(b + 1{,}386 . \frac{m}{K}\right)^2$$

welche durch Annäherung aus denselben Schlüssen, wie jene für Z (§. 80.) hergeleitet ist, mit hinlänglicher Sicherheit bedienen.

§. 84.

Man setze den Exponenten $\frac{Bb}{v}$ (§. 77.) Kürze halber $= n$, so ist

$$E^n - \left(E^n - 1\right) = 1.$$

Zerfällt man $E^n - \left(E^n - 1\right)$ in seine beyden Faktorn $E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^n - 1\right)}$ und $E^{\frac{n}{2}} - \sqrt{\left(E^n - 1\right)}$, so wird

$$1 = \left(E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^n - 1\right)}\right) \times \left(E^{\frac{n}{2}} - \sqrt{\left(E^n - 1\right)}\right)$$

und

und

$$\frac{1}{E^{\frac{n}{2}} - \sqrt{\left(E^{n} - \right)}} = E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}$$

Multiplizirt man beyderseits mit $E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}$, so kömmt

$$\frac{E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}}{E^{\frac{n}{2}} - \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}} = \left(E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}\right)^{2}$$

zum Vorschein. Es ist also auch

$$\text{lognat}\left[\frac{E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}}{E^{\frac{n}{2}} - \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}}\right] = \text{lognat}\left(E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}\right)^{2}$$

$$= 2\ \text{lognat}\left(E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}\right)$$

und

$$\left[\text{logn.}\left\{\frac{E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}}{E^{\frac{n}{2}} - \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}}\right]^{2} = 4\left[\text{logn.}\left(E^{\frac{n}{2}} + \sqrt{\left(E^{n} - 1\right)}\right)\right]^{2}\right.$$

Folglich $\frac{v^2}{4 g t^2 B}\left[\text{lognat}\left\{\frac{E^{\frac{bB}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}}{E^{\frac{bB}{2v}} - \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}}\right]^{2}\right.$

$$= \frac{v^2}{g t^2 B}\left[\text{lognat}\left(E^{\frac{bB}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}\right)\right]^{2}$$

Hieraus

Hieraus ergiebt sich

$$z = \frac{v^2}{Bgt^2}\left[\text{lognat}\left[E^{\frac{Bb}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}\right]\right]^2$$

und

$$\eta = H + \rho + \frac{v^2}{Bgt^2}\left[\text{lognat}\left[E^{\frac{Bb}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Bb}{v}} - 1\right)}\right]\right]^2$$

ein dem §. 77. gefundenen ganz gleich geltender Ausdruck für die ganze zur Bewegung des Kolbens bey seinem Aufzuge erforderliche Kraft, dessen man sich daher, seiner grössern Geschmeidigkeit wegen, Vorzugsweise statt jenem bedienen kann: so wie sich auf eben dieselbe Art für den niedergehenden Kolben

$$y = \frac{m^2}{Kgt^2}\left[\text{lognat}\left[E^{\frac{Kb}{2m}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}\right]\right]^2$$

statt der §. 83. gefundenen Gleichung entwickelt.

Anmerkung. Derselbe Ausdruck für z oder y läßt sich auch schon unmittelbar aus der §. 75. gefundenen Gleichung zwischen der Zeit t und dem zurückgelegten Raum s herleiten. Sezt man nämlich dort statt s die ganze Länge des Kolbenhubes b, so erhält man

$$\frac{bB}{v^2} = \text{lognat}\left[\frac{E^{\frac{tBV}{v}} + 1}{2E^{\frac{tBV}{2v}}}\right]$$

Folglich, wenn N diejenige Zahl anzeigt, deren natürlicher Logarithme $= \frac{tBV}{v}$ ist,

$$\frac{bB}{2v} = \text{lognat}\left[\frac{N+1}{2\sqrt{N}}\right.$$

also auch

$$\frac{bB}{2v} \cdot \text{lognat } E = \text{lognat}\left[\frac{N+1}{2\sqrt{N}}\right.$$

und

$$E^{\frac{bB}{2v}} = \frac{N+1}{2\sqrt{N}}.$$

Dieß

Dieß giebt

$$2E^{\frac{bB}{2v}} \cdot \sqrt{N} - N = 1$$

oder $$N - 2E^{\frac{bB}{2v}} \cdot \sqrt{N} = -1 .$$

Das Quadrat komplirt

$$N - 2E^{\frac{bB}{2v}} \cdot \sqrt{N} + E^{\frac{bB}{2v}} = -1 + E^{\frac{bB}{2v}}$$

die Wurzel ausgezogen

$$\sqrt{N} - E^{\frac{bB}{2v}} = \pm \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)}$$

und, weil hier das positive Zeichen gelten muß,

$$\sqrt{N} = E^{\frac{bB}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)},$$

also auch

$$\text{lognat } N^{\frac{1}{2}} = \text{lognat} \left[E^{\frac{bB}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)} \right]$$

$$= \tfrac{1}{2} \text{ lognat } N .$$

Es ist aber $\text{lognat } N = \dfrac{tBV}{v}$,

daher

$$\frac{tBV}{2v} = \text{lognat} \left[E^{\frac{bB}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)} \right]$$

$$\text{und } V = \frac{2v}{Bt} \cdot \text{lognat} \left[E^{\frac{bB}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{bB}{v}} - 1\right)} \right] .$$

Weil nun $V = \dfrac{2\sqrt{g z}}{\sqrt{B}}$ ist, so ergiebt sich

$$z = \frac{v^2}{B g t^2} \left[\text{lognat} \left[E^{\frac{Bb}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Bb}{v}} - 1\right)} \right] \right]^2 .$$

§. 85.

Ich habe schon oben (§. 70.) bemerkt, daß bey Bestimmung der Koeffizienten B und K unter φ und μ keineswegs die ganze Weite der Ventilöfnungen, sondern eigentlich nur diejenigen (zusammengezogenen) Querschnitte verstanden werden müssen, welche die aufgehobenen Klappen dem durchströmenden Wasser darbieten, und welche allemal desto kleiner sind, je grösser das Gewicht dieser Klappen ist. Sollte dieser Querschnitt der ganzen, (zusammengezogenen) Weite der Ventilöfnung gleich werden, so müßte, bey der gewöhnlichen Einrichtung dieser Ventile, die Klappe sich höher als unter einem Winkel von 45 Grad aufrichten. Da es indessen zur Vollkommenheit eines Ventils gehört, daß solches, bey jedesmaligem Wechsel des Kolbenzuges, in demselben Augenblick, da der Kolben seinen Rückzug beginnt, ohne allen Zeitverlust zufalle, weil sonst ein Theil der in den Stiefel eingezogenen Wassermenge wieder durch die Ventilöfnung zurückfallen, und also unnütz verloren gehen würde, so darf man der Klappe keinen so hohen Hub gestatten; und wenn man noch überdieß bedenkt, daß die geschlossene Klappe den ganzen Druck der über ihr stehenden Wasser- und Luftsäule tragen, und bey jedesmaligem Zufallen einen nicht unbedeutenden Schlag aushalten muß (der desto heftiger wird, je weiter die Klappe sich aufgerichtet hat), so sieht man wohl praktische Gründe genug, warum die Klappen vielmehr schwer als leicht gemacht werden müssen. Ich glaube daher, daß man bey einer zweckmässigen Anordnung dieser Art Ventile den eigentlichen Querschnitt des durchströmenden Wassers überhaupt nie grösser als $0,4 . \varphi$ oder $0,4 . \mu$ annehmen darf, um soviel mehr, als man auch auf das Anprellen des eindringenden Wasserstrahls, und die schiefe Richtung, welche er durch die Klappe erhält (wodurch der Widerstand, besonders bey engen Oefnungen, beträchtlich vermehrt wird), Rücksicht nehmen muß.

Zehentes Kapitel.

Vollständige Berechnung eines doppelten Saugwerks.

§. 86.

Da bey einer einfachen Saugpumpe der eigentliche Widerstand, so wie die Wirkung, nur beym Aufzuge des Kolbens statt findet, und die auf den Rückzug oder Schub desselben verwendete Zeit im Grunde unnütz verloren geht, so werden bey allen grossen Wassermaschinen, welche durch beständig wirkende Kräfte betrieben werden, *) immer zwey dergleichen Pumpen von vollkommen gleichen Abmessungen so zusammen geordnet, daß der eine Kolben in derselben Zeit steigt, in welcher der andere fällt. Man gewinnt durch diese Einrichtung in doppelter Rücksicht: denn Erstens wird der Widerstand sowohl als die Wirkung gleichförmig vertheilt, die Maschine gießt währendem Zuge und Rückzuge der Kolben gleichviel Wasser aus, und die bewegende Kraft wird in jedem Augenblicke benützt. Zweytens hebt sich das Gewicht der Kolben, der Kolben- und Schachtstangen u. d. gl. an beyden Pumpen gegenseitig auf, so daß die bewegende Kraft ausser der über und unter dem steigenden Kolben befindlichen Wassersäule keine Last zu heben hat.

Eine der gewöhnlichsten und zweckmässigsten Vorrichtungen, deren man sich in Gruben und auf Salzwerken zu diesem Ende bedient, sind die sogenannten Kunstkreutze oder Winkelhebel (dergleichen Fig. 36. einer vorgestellt ist), welche durch ein Wasserrad mittelst eines einfachen krummen Zapfens und der daran gehängten Korbstange entweder unmittelbar, oder durch ein darzwischen gestelltes Kunst-

*) Z. B. Wasserräder, Windmühlen, Roßkünste. Die Dampfmaschinen und Wassersäulenmaschinen haben diese Einrichtung nicht nöthig, weil bey ihnen währendem Rückzuge des Kolbens auch die bewegende Kraft (die Luft-, Dampf- oder Wassersäule) zu wirken aufhört, und sie sind daher größtentheils nur mit einfachen Sätzen vorgerichtet.

Kunst- oder Feldgestänge so in Bewegung gesezt werden, daß die angewandte Kraft im Ziehen und Schieben einen gleichen Widerstand überwindet. Und es ist diese Anordnung mit vorgelegtem Zeuge in vielem Betrachte vortheilhafter, als wenn die Kolben- und Schachtstangen unmittelbar unter das Rad an eine doppelt gebogene Kurbel, oder an zwey zu beyden Seiten desselben in entgegengesezter Richtung befestigte Krummzapfen angehängt werden, wenn anders die Entfernung der Pumpen vom Rade nicht zu beträchtlich ist, in welchem Falle das Geschleppe des zwischen beyden angebrachten Gestänges, und die daran vorfallenden Reibungen einen grossen Theil der bewegenden Kraft rauben, und auch am Hube viel verloren geht.

§. 87.

Aufgabe. An zweyen vollkommen gleichen Pumpen Fig. 36, deren Kolben mittelst eines sogenannten Kunstkreutzes ABD wechselweise gehoben und niedergedrückt werden, sind alle Abmessungen bekannt. Man sucht die Kraft P, welche an der Korbstange a a angebracht werden muß, um in der gegebenen Zeit t den einen Kolben aufzuziehen, und den andern niederzudrücken.

Auflösung. Es sey die Kraft, welche erfordert wird, den Kolben A in der Zeit t auf die Höhe b zu heben, dem Gewicht einer Wassersäule von der Höhe η auf der Grundfläche W; und diejenige Kraft, welche nöthig ist, den Kolben B in derselben Zeit eben so weit niederzuschieben, dem Gewicht einer Wassersäule von der Höhe y auf derselben Grundfläche gleich, so hat man, wenn alle im vorigen Kapitel angenommenen Benennungen beybehalten werden, nach §. 80.

$$\eta = H + \rho + z,$$

oder, wenn man auf das Verhältniß der Dicke der Kolbenstange zur Weite des Stiefels mit Rücksicht nimmt (nach §. 69.) genauer

$$\eta = H + \rho + z - \frac{r}{W}\left(h - x\right).$$

= I

Bedient

Bedient man sich des §. 84. gefundenen Ausdruckes für z, so erhält man demnach

$$\eta = H - \frac{r}{W}\left(h - x\right) + \rho$$

$$+ \frac{v^2}{B.g\,t^2}\left[\left[\text{lognat}\left[E^{\frac{Bb}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Bb}{v}} - 1\right)}\right]\right]^2.$$

Eben so findet man, nach §. 70. und §. 84.

$$y = \rho + \frac{r}{W}\left(h - x\right) + \frac{m^2}{K g t^2}\left[\left[\text{lognat}\left[E^{\frac{Kb}{2m}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}\right]\right]^2\right.$$

Heißt der Abstand der beyden Kolbenstangen AC oder BC von der Achse des Kunstkreutzes i, der Abstand CD der Korbstange aa, oder der Abstand der Kraft e, so folgt nunmehr

$$P = \frac{i}{e} \cdot W\left(\eta + y\right)$$

oder

$$P = \frac{i}{e} W\left[H + 2\rho + \frac{v^2}{B g t^2}\left(\text{logn.}\left[E^{\frac{Bb}{2v}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Bb}{v}} - 1\right)}\right]\right)^2\right.$$

$$\left. + \frac{m^2}{K g t^2}\left(\text{logn.}\left[E^{\frac{Kb}{2m}} + \sqrt{\left(E^{\frac{Kb}{m}} - 1\right)}\right]\right)^2\right]$$

§. 88.

Wem es bey der Anlage einer grossen kostbaren Maschine nicht seiner Mühe werth dünkt, auf die genaueste Berechnung der zum Betrieb derselben erforderlichen Kraft eine Stunde Zeit und einen Bogen Papier zu verwenden, der mag sich mit den §. 80. und §. 83. angegebenen kürzern und bequemern Formeln für z und y begnügen, welche auch für die meisten Fälle mit hinreichender Genauigkeit anzuwenden sind. Es wird nämlich, nach diesen, wenn man 1,39 statt 1,38629 der Kürze und Sicherheit wegen sezt,

P =

$$P = \frac{i}{e} . W \left[H + 2\rho + \frac{B}{4gt^2}\left(b + 1{,}39\,\frac{v}{B}\right)^2 + \frac{K}{4gt^2}\left(b + 1{,}39\,\frac{m}{K}\right)^2 \right]$$

$$= \frac{i}{e} . W \left[H + \frac{B\left(b + 1{,}39\,\frac{v}{B}\right)^2 + K\left(b + 1{,}39\,\frac{m}{K}\right)^2}{4g . t^2} + 2\rho \right]$$

in Kubickfussen Wasser ausgedrückt.

§. 89.

Um die Grössen v und m für jeden besondern Fall zu bestimmen, muß man zuerst die Momente der Trägheit aller mit den Kolben zugleich in Bewegung gesezten schweren Massen (die Wassersäulen über und unter den Kolben mit eingerechnet) nach den bekannten Lehren der Mechanik aufsuchen, und die Summe derselben durch das Quadrat der Entfernung der Kolbenstangen von der Achse des Kunstkreutzes dividiren; so giebt der Quotient den kubischen Inhalt einer Wassermasse, welche, wenn sie unmittelbar an der Kolbenstange angebracht wäre, auf die Beschleunigung der Bewegung denselben Einfluß haben würde, wie die verschiedenen Theile der Maschine in ihren mannigfaltigen Stellungen und Entfernungen zusammengenommen äussern. Wenn man daher diese gefundene Masse durch die Fläche des Kolbens W dividirt, so kommt v oder m zum Vorschein.

Es seyen z. B. an dem doppelarmigen Hebel AB (Fig. 39.) verschiedene Massen p, q, s, Q in den Entfernungen Ac, mc, nc, Bc angebracht, und es sey $Ac = \alpha$; $mc = \beta$; $nc = \gamma$; $Bc = i$, so ist das Moment der Trägheit der Masse p, $= p . \alpha^2$

der Masse q, $= q . \beta^2$

der Masse s, $= s . \gamma^2$

der Masse Q, $= Q . i^2$ u. s. f.

Folglich diejenige Masse, welche am Ende b angebracht, in Bezug auf die Beschleunigung des Hebels, allen diesen Massen equivalent wäre,

$$M = \frac{p . \alpha^2 + q . \beta^2 + s . \gamma^2 + Q . i^2 \ldots .}{i^2}$$

Diese

Diese Masse durch einen Wasserzylinder von der Grundfläche W und Höhe θ ausgedrückt ist $M = \theta W$, also

$$\theta = \frac{M}{W} = \frac{p.\alpha^2 + q.\beta^2 + s.\gamma^2 + Q.i^2 \ldots}{W.i^2}$$

Hiezu kömmt nun noch die Trägheit der zu hebenden Wassermassen selbst, und es ist hiebey nicht nur die über dem Kolben befindliche und von selbem gehobene, sondern auch die unter demselben und im Saugrohr enthaltene durch den Kolben aufwärts gezogene Wassersäule in Rechnung zu bringen. Denn obwohl leztere eigentlich nicht vom Kolben selbst, sondern von der auf die untere Wasserfläche drückenden Atmosphäre in Bewegung gesezt wird, so entsteht doch eben daher (weil der Gegendruck von unten an den Kolben vermindert wird) eine in demselben Maaße vermehrte Pressung der Atmosphäre auf den Kolben von oben, und es ist also auch in Rücksicht auf den mechanischen Widerstand eben so viel, als ob der Stiefel in der tiefsten Stelle, das Saugrohr über demselben, und alles Wasser von dem Kolben von unten aufwärts gedrückt würde.

Hat das Saugrohr mit dem Stiefel einerley Weite, folglich die in beyden steigende Wassersäule dieselbe Geschwindigkeit, mit welcher der Kolben bewegt wird, so ist das ganze Moment der Trägheit der gehobenen Wassermassen $= WH.i^2$.

Ist hingegen die Weite des Saugrohrs $\omega < W$, so muß auch die Geschwindigkeit der in demselben steigenden Wassersäule $v > c$ seyn, wenn c die Geschwindigkeit des Kolbens ist, und man kann sich die Sache so vorstellen, als ob die im Saugrohr enthaltene Wassersäule in einer Entfernung angebracht wäre, die sich zur Entfernung des Kolbens verhält wie $v : c = W : \omega$. Heißt demnach die ganze Länge des Saugrohrs λ, und die Höhe des Stiefels vom Ventile bis zum Ausguß h, so ist das Moment der Trägheit der im Stiefel enthaltenen Wassersäule

$$Wh.i^2,$$

und das Moment der Trägheit der im Saugrohr enthaltenen Wassersäule

$$\omega\lambda.i^2.\frac{W^2}{\omega^2} = i^2.\lambda.\frac{W^2}{\omega},$$

folglich

folglich die Höhe einer Wassersäule von der Grundfläche W, welche auf die Bewegung des Kolben denselben Einfluß haben würde, wie diese beyden Wassersäulen zusammen,

$$h + \lambda . \frac{W}{\omega},$$

und überhaupt

$$v = \theta + h + \lambda . \frac{W}{\omega} .$$

Man sieht hieraus, daß der Widerstand, welchen die Trägheit des im Saugrohr enthaltenen Wassers verursacht, desto beträchtlicher ausfallen muß, je enger die Saugröhre im Verhältniß gegen den Stiefel ist, und daß dieser Widerstand desto kleiner wird, je grösser das Verhältniß von ω zu W ist.

§. 90.

Für ρ oder die absolute Grösse der Reibung zwischen dem Kolben und der Stiefelwand läßt sich keine allgemeine sichere Bestimmung festsetzen, theils, weil uns bis jezt noch Versuche über diesen Gegenstand fehlen, theils, weil hiebey gar zu viel auf die mehr oder minder vollkommene und genaue Anfertigung des zylindrischen Kolbenrohrs, und selbst auf die Art der Liederung ankommt. Da indessen die Kolben überhaupt desto schärfer und dichter geledert seyn müssen, je höher die auf dieselben drückende Wasser- und Luftsäule ist, damit kein Wasser zwischen denselben und den Stiefelwänden durchdringen könne, so begreift man wohl vorläufig, daß die Grösse dieses Widerstandes mit dem hydrostatischen und hydraulischen Drucke in einem gewissen geraden Verhältnisse stehen müsse. Auch fügt sich dieses bey der sogenannten Kappen- Stiefel- oder Sturzliederung von selbst, indem der obere Theil des ledernen Sturzes beym Steigen des Kolben von der darauf liegenden Wassersäule selbst aus einander und ringsum an die Wand des Kolbenrohrs angepreßt wird.*)

Herr

*) Diese Reibung nimmt indessen, wie die Erfahrung zeigt, in einem geringern Verhältnisse zu, als die drückenden Wassersäulen, so daß für denselben Kolben, bey einer doppelten Wasserhöhe, der Widerstand der Reibung nur etwa $1\frac{1}{2}$ mal so groß ausfällt.

Herr Rath Langsdorf glaubt in dem angeführten Lehrbuch der Hydraulik, bey einem gutpolirten eisernen Kolbenrohr dürfe man

$$\rho = 0,1\ H \left(\frac{D}{D + 0,5} + 0,5 \right)$$

annehmen, wenn H die ganze Wasserhöhe vom Sumpf bis zum Ausguß, und D den Durchmesser des Stiefels in Fußmaaß ausdrückt. Dieß gäbe z. B. für einen zwölfzölligen gewöhnlichen niedern Satz, wenn man $H = 32'$ sezt, $\rho = 3,733$ oder beynahe $3\frac{3}{4}$ Fuß, folglich die Reibung des Kolbens allein schon dem neunten Theil der ganzen hydrostatischen Last gleich, und, weil dieser Widerstand beym Rückzuge des Kolbens eben so wie beym Hube, mithin für jedesmaligen Ausguß der Pumpe zweymal vorkömmt, eigentlich $\frac{1}{4,5}$ der Wasserlast. Nun glaube ich zwar allerdings, daß dieser Widerstand bey den nach deutscher Art nur ausgezogenen, nicht gebohrten, eisernen Kolbenröhren so beträchtlich, ja wohl noch grösser, ausfallen dürfte; doch halte ich mich, zufolge eigener über diesen Gegenstand in England gemachter Beobachtungen, berechtigt, die Reibung eines nach englischer Art über den Sturz gelederten Kolben in einem eisernen auf einer guten Bohrmaschine genau ausgebohrten Zylinder nicht höher als zu 1 ℔ für jeden Zoll des Durchmessers und jede 10 Fuß der drückenden Wassersäule anzusetzen. Dieß giebt, wenn H in Füssen, D in Zollen gegeben ist, den Widerstand der Reibung

$$F = 0,1 . H . D . 1\ ℔$$

folglich, wenn man nach englischem Maaß und Gewichte den Kubickfuß Wasser zu $62\frac{1}{2}$ ℔ annimmt,

$$F = 0,1 . H D \frac{1}{62,5} \text{ Kubickfuß Wasser}$$

$$= \frac{HD}{625} = W . \rho$$

wenn W in Quadratfussen ausgedrückt ist. Wird aber W in Quadratzollen gegeben, so ist

$$\frac{W}{144} . \rho = \frac{HD}{625}$$

$$\text{also} \quad \rho = \frac{144}{625} \cdot \frac{H\,D}{W} = \frac{144}{625} \cdot \frac{H.D}{0{,}785.D^2}$$

$$= 0{,}293\,\frac{H}{D}$$

wofür man Kürze halber

$$\rho = 0{,}3 \cdot \frac{H}{D}$$

setzen kann, wenn nämlich ρ und H in Fussen, und D in Zollen ausgedrückt wird.

Indessen rathe ich zur Sicherheit bey allen in Deutschland (wo man leider noch mit dem Anlagskapital groschenweise spart, und dafür an Kraft, Wirkung und Unterhaltungskosten Thalerweise verschwendet) mit ungebohrten Kolbenröhren zu machenden Anlagen die obige Bestimmung des Herrn Raths Langsdorf beyzubehalten.

§. 91.

Bey den im vorigen §. angegebenen Bestimmungen von ρ ist nur von derjenigen Reibung die Rede, welche von dem durch seine eigene Elastizität, oder durch den Druck des Wassers ringsum gleich stark an die Stiefelwand gedrängten Leder herrührt, und es wird hiebey vorausgesezt, daß die Richtung der Kolbenstange beym Hub und Schub immer genau in der verlängerten Achse des Kolbenrohrs bleibe, und dieses selber ganz saiger stehe. Diejenige Reibung, welche von dem Seitendrucke der von dieser Richtung abweichenden Kolbenstange, so wie jene, welche von dem Aufliegen des Kolbens in einem donlegigen oder flach gelegten Satze entsteht, und welche in manchem Falle noch beträchtlicher als die erste seyn kann, ist hiebey gar nicht in Rechnung gebracht. Uebrigens ist noch zu bemerken, daß, da bey einem über den Sturz geliederten Kolben im Niedergehen das von unten eindringende Wasser den Obertheil der Kappe eben so zusammen drückt, als solcher beym Steigen von der obern Wassersäule auseinander getrieben wird, der Widerstand der Reibung beym Schube ganz unbedeutend ist, folglich bey einer solchen Lederung in denen §. 87 und 88. bestimmten Formeln nur ρ statt 2ρ gesezt werden darf; worinn eben auch einer der wesentlichsten Vorzüge der Sturzliederung vor der gewöhnlichen Scheibenliederung besteht.

§. 92.

Wenn bey einer Saug- und Hebpumpe die Ventile genau anschlieſſen, das Kolbenrohr eine vollkommen zylindrische Gestalt hat, und der Kolben allenthalben vollkommen dichte anpasset, so wird beym Hube eine Wassermenge

$$G = W b$$

durch das untere Ventil aus der Saugröhre in den Stiefel eingezogen, und zu gleicher Zeit über demselben eine Wassermenge

$$N = \left(W - r \right) b$$

ausgeschüttet.

Weil nun die ganze Wassermasse G beym Niedergange des Kolbens durch die in demselben befindliche Ventilöfnung über denselben in einen Querschnitt $W - r < W$ übertretten muß, so ist klar, daß der durchgedrückte Wasserzylinder daselbst eben so viel an seiner Länge zunehmen müsse, als seine Grundfläche vermindert wird, folglich während dieser Zeit oben an der Ausgußstelle eine Wassermasse überlaufe, welche den Unterschied der Längen dieser beyden Zylinder zur Höhe und $W - r$ zur Grundfläche hat. Diese Wassermasse heisse q, die Länge, welche die Wassermasse $G = W b$ über dem Kolben einnimmt, $b + x$, so wird $q = x (W - r)$,

$$\left(b + x \right)\left(W - r \right) = W b,$$

$$\text{also} \quad x \left(W - r \right) = W b - b \left(W - r \right)$$

Das ist $q = b r$

seyn. Weil aber $b r + b (W - r) = b W$ ist, so hat man auch $q + N = G$.

Das heißt: Die Summe der vom Kolben während seinem Steigen ausgehobenen, und der von demselben bey seinem Nieder-

Niedergange ausgedrückten Wassermengen ist allemal dem Produkte aus der ganzen Kolbenfläche in die Länge des Hubes gleich.

Die Pumpe liefert nämlich beym Schub des Kolbens denjenigen Theil der eingezogenen Wassermenge, welchen sie beym Hube zurückgehalten hat.

Man sieht hieraus, daß es in Rücksicht auf die Wirkung vollkommen gleichgiltig sey, in welchem Verhältnisse die Dicke der Kolbenstange (so weit solche im Wasser geht) zur Weite des Stiefels oder des Aufsatzrohrs stehe, da die auf ein ganzes Kolbenspiel ausgeschüttete Wassermenge allemal $= W b$ bleibt.

Auf den Widerstand beym Aufziehen und Niederdrücken des Kolbens hat zwar der Werth von $\frac{r}{W}$ einen merklichen Einfluß; doch wird auch dieser in dem einen Zeitpunkte gerade so viel vermehrt, als er in dem andern vermindert wird, und bey einem doppelten Saugwerk fällt der von diesem Umstande herrührende Unterschied gänzlich weg, da sich die Glieder $- \frac{r}{W} (h - x)$ und $+ \frac{r}{W} (h - x)$ (§. 87.) allemal einander aufheben, der Werth von $\frac{r}{W}$ mag seyn, welcher er wolle.

Wollte man bey einer einfachen Pumpe eine solche Einrichtung treffen, daß beym Hub und Schub gleich viel Wasser ausgegossen würde, so müßte $q = N$, d. i.

$$b r = \left(W - r \right) b,$$

also $$2 b r = W b$$

oder $$r = \frac{1}{2} \cdot W$$

gemacht werden. Und dann wäre auch der von dem über dem Kolben stehenden Wasser verursachte Widerstand in beyden Zeiten gleich groß.

§. 93.

Für ein Beyspiel zur vollständigen Berechnung eines doppelten Saugwerks nehme man den Durchmesser der Kolbenröhren 12 Zoll, der Saugröhren 3 Zoll,

der

der Ventilöfnung 2 Zoll, die untere Oefnung der Saugröhren 5 Quadratzoll, und die Länge derselben 25 Fuß an. Dieß giebt

$$D = 12'' \text{ also } W = 113.$$

$$\delta = 3'' \text{ — — } \omega = 7.$$

$$l = 25.$$

$\varphi = 0{,}785 \cdot 4 = 3{,}14$, wegen der Zusammenziehung und dem Widerstand des Ventils aber höchstens $\varphi = 1{,}5$.

$a = 5$, also

$$\frac{W}{\varphi} = 75{,}3; \quad \frac{W}{a} = 22{,}6; \text{ und } \frac{W}{\omega} = 16{,}14,$$

$$\frac{\varphi}{\omega} = 0{,}214, \text{ und } \frac{a}{\omega} = 0{,}714, \text{ mithin nach §. 69,}$$

$$B = 2 + 75{,}3^2 + 22{,}6^2 + 16{,}14^2 \left(1 + \frac{25 \cdot 12}{53 \cdot 3} - 0{,}928\right)$$

$$= 2 + 5670 + 510{,}76 + 260{,}5 \left(2{,}886 - 0{,}928\right)$$

$$= 6692.$$

Der Kolben sey mit Scheiben geliedert, und habe 6 Löcher jedes von 2 Zoll im Durchmesser, so ist die Summe dieser Oefnungen $6 \cdot 3{,}14 = 18{,}8$ Quadratzoll. Wegen der Zusammenziehung und dem Widerstande der Scheiben darf man indessen höchstens $\mu = 5$ setzen; hiemit wird nach §. 70,

$$K = 2 + \frac{W^2}{\mu^2} - \frac{r}{W} = 2 + 22{,}6^2 = 512{,}76,$$

mit Vernachlässigung des unbedeutenden Bruches $\frac{r}{W}$

$$K = 512.$$

Ferner sey $v = 100$; $m = 70$; die Länge des Hubes $b = 4$ und $4g = 60{,}36$ nach Parisermaaße, so ergiebt sich nach §. 88,

P =

$$P = \frac{i}{e} W \left[H + \frac{6692\left(4 + 1{,}39 \cdot \frac{100}{6324}\right)^2 + 512\left(4 + 1{,}39 \cdot \frac{70}{512}\right)^2}{60{,}36\, t^2} + 2\rho \right]$$

$$= \frac{i}{e} W \left(H + 2\rho + \frac{128524}{60{,}36\, t^2} \right)$$

$$= \frac{i}{e} W \left(H + 2\rho + \frac{2130}{t^2} \right)$$

Nimmt man die ganze Wasserhöhe H = 30′ an, so wird, bey der Scheibenliederung, nach Herrn Langsdorfs Bestimmung $\rho = 3{,}5$ beynahe, mithin der ganze Widerstand auf den Kolben dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe $37 + \frac{2130}{t^2}$ gleich, da das lezte Glied das zur Bewegung erforderliche Uebergewicht ausdrückt. Sollte nun der Hub des einen und der Schub des andern Kolben in 2 Sekunden geschehen, so würde der ganze zu überwindende Widerstand in der Entfernung der Kolbenstangen dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe

$$37 + 532 = 569 \text{ Fuß!}$$

gleich, indeß die eigentliche unvermeidliche Last nur eine Wassersäule von 30 Fuß ist! —

Für t =	3	Sekunden würde die ganze Widerstandshöhe . . . 273.
Für t =	4	. . . . . 170.
Für t =	5	. . . . . 121.
Für t =	6	. . . . . 96.
Für t =	7	. . . . . 80.
Für t =	8	. . . . . 70.
Für t =	9	. . . . . 63.
Für t =	10	. . . . . 58.
Für t =	15	. . . . . 46, 4.

Die Kunst könnte demnach, ohne die ausserordentlichste Kraftverschwendung, nur höchstens 2 Kolbenspiele in einer Minute machen, und selbst bey einem so äusserst langsamen Gange (wobey die Sätze nach ihrer gewöhnlichen Einrichtung die Hälfte

Hälfte des gehobenen Wassers fallen lassen) betrüge das erforderliche Uebergewicht noch 9,4 Fuß, also beynahe $\frac{1}{3}$ der wahren Last.

Da die hier angenommenen Abmessungen keineswegs übertrieben, und ganz so sind, wie man sie noch bey einigen der bessern Bergwerksmaschinen in Deutschland antrift *), so mag dieses Beyspiel zum überzeugenden Beweise dienen, wie höchst elend und mangelhaft überhaupt noch der Zustand unsers Maschinenwesens, und wie unentbehrlich eine gesunde und richtige Theorie (mit etwas mehr als Elementarkenntnissen aus der Mathematik) zu einer zweckmässigen vortheilhaften Anlage hydraulischer Maschinen, so wohl als zur Berechnung derselben, ist.

Um nun dagegen die Vortheile einer auf richtigern Grundsätzen beruhenden Anordnung zu zeigen, will ich für dieselben Werthe von D, b, l, H, v und m, d. i. für dieselben Data

$$\delta = 6 \text{ Zoll, also } \omega = 28,$$

$$\varphi = 8,$$

$$a = \omega = 28$$

setzen, so wird der Koeffizient des hydraulischen Widerstandes für den Hub des Kolbens, oder

$$B = 228,$$

Ich nehme ferner an, daß der Kolben mit einer 7 Zoll weiten Oefnung und einer darauf liegenden beweglichen Klappe versehen sey, so kann man $\mu = 15$ setzen, und es wird für diese Einrichtung (nach §. 69.) der Koeffizient des hydraulischen Widerstandes für den Kolbenschub, oder

$$K = 2 + \frac{W^2}{\mu^2} - 2\frac{\mu}{W} - \frac{W}{\mu}$$

$$= 50{,}9.$$

Dieß

*) Ich habe wohl 12zöllige Sätze mit zweybohrigen Saugröhren, und eben so grosse Kolben mit 6 einzölligen Löchern gesehen.

Dieß giebt nach derselben Formel (§. 88.)

$$P = \frac{i}{e} . W \left(30 + 2\rho + \frac{66{,}20}{60{,}36 . t^2} \right)$$

$$= \frac{i}{e} . W \left(30 + 2\rho + \frac{109{,}6}{t^2} \right)$$

Sind nun noch die Kolben über den Sturz nach englischer Art geledert, und die Kolbenröhren gut gegossen und genau ausgebohrt, so beträgt der Widerstand der Reibung (§. 90.) nicht mehr als 3 ℔ für jeden Zoll des Durchmessers, oder $\rho = 0{,}3 . \frac{30}{12} = \frac{3'}{4}$ wofür man zur Sicherheit $\rho = 1$, dagegen aber in die Gleichung nur ρ statt 2ρ setzen mag, weil bey dieser Liederung die Reibung im Niedergehn des Kolben wegfällt.

Hieraus ergiebt sich demnach für den gesammten Widerstand eine Druckhöhe

$$31 + \frac{109{,}6}{t^2}$$

also für t = 2 Sekunden die ganze Druckhöhe	. . .	= 58,4
für t = 3″	. . . . .	= 43,1
für t = 4″	. . . . .	= 37,8
für t = 5″	. . . . .	= 35,3
für t = 6″	. . . . .	= 34.
für t = 7″	. . . . .	= 33.

Der gesammte Widerstand wird daher bey dieser Einrichtung, wenn die Kolben 15 mal in einer Minute spielen, nicht grösser seyn, als solcher bey den vorhin angenommenen Verhältnissen für 3 Kolbenspiele in derselben Zeit ist. Und da hier für t = 4 (d. i. für $7\frac{1}{2}$ Kolbenspiele in der Minute) die widerstehende Druckhöhe nur 37,8′, dort hingegen, für dieselbe Geschwindigkeit = 170′ ist, so erhellet, daß mit derselben Kraft, welche angewendet werden müßte, beyde Pumpen nach denen zuerst angegebenen Dimensionen $7\frac{1}{2}$ mal in der Minute auf der Höhe von 30 Fuß ausgiessen zu machen, bey der lezten Einrichtung eben so viele Hübe von gleichem Inhalt bey einer Wasserhöhe von 170 — 7,8 = 162,2 Fuß erhalten würden, und daß sich folglich die nutzbare Wirkung der Maschine im lezten Falle zu jener im ersten, wie 162 : 30 = 5,4 : 1 verhält.

Anmer-

Anmerkung. Der Vortheil, den eine hinlängliche Weite der Saugröhren und Ventilöfnungen, in Rücksicht auf Krafterspariß und Wirkung gewährt, ist nämlich desto beträchtlicher, je schneller die Maschine arbeiten, d. i. je mehr Kolbenhübe in einer Minute geschehen sollen. Bey einer sehr langsamen Bewegung wird der Unterschied, den die grössere oder geringere Weite dieser Querschnitte verursacht, minder beträchtlich, und eben darum der nachtheilige Einfluß der zu engen Röhren und Ventile minder auffallend. Wenn die Saugröhren, wie gewöhnlich, so lang gemacht werden, daß der Kolben in seinem höchsten Stande beynahe 32 Fuß saiger von der untern Wasserfläche entfernt ist, so kann freylich der Druck auf denselben, bey einem ordinären niedern Satze, nie grösser als 33 bis 34 Fuß werden, soviel nämlich das ganze Gewicht der Atmosphäre + der kleinen über dem Kolben stehenden Wassersäule beträgt. Und wenn dann der Kolben nur nicht schneller aufgezogen wird, als ihm das Wasser von dem schwachen Uebergewichte der untern Luftsäule nachgedrückt werden kann, so daß der Raum unter demselben in jedem Augenblick mit Wasser ausgefüllt bleibt, so geht im Grunde beym Hube so sehr viel Kraft nicht verloren. Allein eben die Nothwendigkeit, diese Pumpen so äusserst langsam zu bewegen (weil sie sonst nicht ihren vollen Hub Wasser geben) ist, meiner Meinung nach, der größte Nachtheil, den lange und enge Saugröhren mit sich bringen, theils, weil man den Gang einer solchen Maschine gar nicht forçiren, folglich auch, bey ausserordentlichem Wasserzufluß, ohne neu angehängte besondere sogenannte Noth- oder Hilf-Sätze nicht gewältigen kann, theils weil bey so einem Schneckengange eine bestimmte Wassermenge nur durch sehr weite und mehrere nebeneinander gestellte Sätze erhalten werden kann, da hingegen bey einem lebhaften Kolbenspiel dieselbe Menge mit wenigern und minder weiten Kölbenröhren, folglich mit einer beträchtlichen Ersparniß an Raum, Reibung, Anlags- und Unterhaltungskosten, gehoben wird.

Im Vorbeygehen muß ich hier, der Seltenheit wegen, einer noch vor wenigen Jahren von Herrn Professor Lempe in Freyberg öffentlich vorgetragenen, und im Bergmännischen Journal für Monat November 1790 gedruckten sehr sonderbaren [illegible] ganz neuen Theorie der doppelten Saugwerke erwähnen, welche von der meinigen gänzlich abweicht. Nach Herrn Lempe (a. O. Seite 436) "bringt es" nämlich "die Natur der Saugwerke mit sich, daß die

"in

"zu hebende Last veränderlich ist, welches schon vorläufig dar-
"aus erhellet, daß die Kolben zu Anfange ihres Aufsteigens eine
"grössere Wassersäule zu tragen haben, als wenn sie sich in ihrem
"höchsten Stande befinden. Zwar müssen die aufgehenden Kol-
"ben noch mit den Druck der Atmosphäre überwinden; aber die-
"ser Druck äussert sich auch auf die niedergehenden Kolben, und
"sucht selbige mit nieder und folglich jene mit aufwärts zu be-
"wegen. Hiedurch entsteht zwischen beyden Pressungen ein
"Gleichgewicht, wenn jedes Paar zusammengehörige Sätze
"durchgängig gleich gebaut sind, und daher hat die Kraft bey
"den aufgehenden Kolben nur den von den über ihnen sich befin-
"denden Hubwassern herrührenden Druck zu überwinden." Und ebendaselbst Seite 439: "Jener Kolben hat nun die über ihm stehen-
"de Wassersäule in die Höhe zu drücken; inzwischen kömmt ihm
"die über dem niedergehenden Kolben zu Hilfe, und die Pressun-
"gen der Atmosphäre sind im Gleichgewichte" u. s. w.

Ich überlasse es meinen Lesern, sich die Möglichkeit psychologisch zu erklären, wie ein sonst in der Mathematik geübter Schriftsteller eine so handgreifliche, jedem Anfänger in der Hydraulik auffallende, Absurdität wachend behaupten, und öffentlich von sich geben konnte. Ich wenigstens muß gestehen, daß ich meinen Augen kaum traute, als mir zuerst die hier angeführte, Wort für Wort abgeschriebene, Stelle jenes Aufsatzes zu Gesichte kam. Hier hätten wir also bey einem doppelten Saugwerk statt einer saigern Wasserhöhe von 30 bis 32 Fuß nur einen Druck von 2 bis 3 Fuß zu überwinden, und der niedergehende Kolben, statt den Widerstand zu vermehren, käme der bewegenden Kraft, wie der Treibkolben einer Wassersäulenmaschine, zu Hilfe! — Daß dieses geschehen müßte, wenn die Klappe auf dem Kolben während dessen Niedergange geschlossen und dagegen das Thürel zwischen dem Stiefel und der Saugröhre offen wäre, (in welchem Falle aber freylich die beym Steigen des Kolben gehobene Wassersäule wieder eben so weit zurück sinken, folglich von den Pumpen gar kein Wasser gehoben würde) daran ist gar kein Zweifel. Allein wie die im Saugrohr befindliche unbewegliche Wassersäule bey verschlossener Klappe, da sie mit dem im Stiefel befindlichen Wasser und der untern Kolbenfläche nicht

die geringste Gemeinschaft hat, diese Wirkung herfürbringen, und wie die Atmosphäre auf die obere Fläche des niedergehenden Kolben einen aktiven Druck äussern sollte, da die Klappe in demselben offen, mithin das Gleichgewicht zwischen dem Luftdruck auf die obere und untere Fläche desselben durch das Medium des über und unter ihm in vollkommner Kontinuität befindlichen Wassers ganz hergestellt ist; hierüber hat sich Herr Professor Lempe noch bis jezt nicht erklärt; auch ist ihm nicht beygefallen, daß ja die Klappe auf dem Kolben bey dessen Niedergang sich nicht öfnen könnte, wenn nicht der Druck gegen dieselbe von unten, mithin gegen die ganze untere Kolbenfläche wirklich grösser als der vereinte Luft- und Wasserdruck von oben wäre. Zu bedauern ist es indessen, daß die Natur auch hier die fatalen Gesetze der Schwere, und nicht die von Herrn Professor Lempe vorgeschriebenen, befolgt, da man, wenn diese Theorie richtig wäre, jede Quantität Wasser auf jede Höhe mit einem verhältnißmässig unbedeutenden Kraftaufwande zu heben, nur doppelte niedrige Sätze mit sehr langen Saugröhren und sehr kurzen Kolbenröhren übereinander stellen dürfte. Ja sogar das leibhaftige Perpetuum mobile selbst hätte man fix und fertig, wenn man nur einen gewöhnlichen unten ganz verschlossenen Pumpstiefel mit einer Art von Steurung vorrichtete, da dann der Kolben von der Atmosphäre, nach Herrn Lempe's Vorschrift, jedesmal niedergedrückt werden müßte, indem das unter ihm im Stiefel befindliche Wasser durch seine Oefnung (vollkommen so wie bey einer gewöhnlichen Saugpumpe) über denselben tretten, und auf diese Art eine der gemeinen Dampfmaschine gleiche Wirkung, ohne allen Wasseraufwand und Gefälle, erhalten werden müßte!!! —

Eilftes Kapitel.

Theoretische und praktische Grundsätze zur möglich vortheilhaftesten Anordnung eines Saugwerks.

§. 94.

Wenn die Wassermenge bestimmt ist, welche durch eine Pumpe in jeder Minute auf eine gewisse Höhe gebracht werden soll, so kömmt es vorzüglich darauf an, daß man eine solche Einrichtung treffe, vermittelst welcher die verlangte Wirkung mit dem möglich geringsten Aufwande von Kraft erhalten werde, oder, wenn umgekehrt die bewegende Kraft gegeben ist, daß dieselbe auf die vortheilhafteste Art, d. i. so benüzt werde, daß man die möglich größte Wassermenge auf die bestimmte Höhe in einer gegebenen Zeit bringe. Es sey die in einer Minute zu hebende Wassermenge M, die Weite des Kolbenrohrs W, die Länge des Hubes b, die Anzahl Hübe, welche in einer Minute geschehen, n, so hat man überhaupt (§. 92.)

$$M = n . Wb,$$

(Vorausgesezt, daß die ganze Maschine aufs vollkommenste gearbeitet, die Stiefel oder Kolbenröhren genau ausgebohrt,*) und Kolben und Ventile vollkommen Luft- und Wasserdicht seyen und kein Wasser fallen lassen, welches aber freylich, besonders bey einem langsamen Kolbenspiele, nicht zu erwarten steht,) und es läßt sich daher aus den drey Grössen n, b, W, wenn zwey derselben willkührlich

*) Bey den auf deutschen Bergwerken noch üblichen schlecht gegossenen und nur ausgezogenen eisernen Kolbenröhren mit der gewöhnlichen Lederung kann man höchstens auf $M = 0,8 n . Wb$ in der Ausübung zählen, besonders wenn die Bewegung so langsam, wie gewöhnlich, ist.

lich oder durch andere Umstände bestimmt sind, immer die dritte durch Rechnung finden. Es ist nämlich

$$n = \frac{M}{bW},$$

$$b = \frac{M}{nW},$$

$$\text{und } W = \frac{M}{bn}.$$

§. 95.

Da Pumpenwerke im Grossen immer durch andere Maschinen, z. B. Pferdegöpel, Wasserräder, Windmühlenflügel, durch Wassersäulenmaschinen, oder Dampfmaschinen in Bewegung gesezt werden, so hängt die Bestimmung der Anzahl Hübe meistens schon von der Einrichtung dieser Maschinen so ab, daß man n als ein festgeseztes Datum annehmen muß. Dieses ist wenigstens bey der in Gruben und auf Salinen gewöhnlichsten Vorrichtung, dem oberschlächtigen Wasserrade, immer der Fall, da die Anzahl Hübe, welche die angehängten Sätze in einer Minute machen, mit der Anzahl der Umläufe des Rades einerley ist, und diese lezte durch die Höhe desselben, wenn die größte Wirkung erhalten werden soll, bestimmt wird. *) Bey unterschlächtigen Rädern erhält man zwar auch die größte Wirkung nur durch eine gewisse Geschwindigkeit der Schaufeln: doch läßt sich hiebey die Höhe oder der Durchmesser des Rades bis auf eine gewisse Gränze nach Willkühr abändern, folglich auch die Anzahl Umläufe und der davon abhangenden Kolbenhübe schon mehr nach Gefallen festsetzen.

Bey einer durch Pferde betriebenen Maschine, da ohnehin Räderwerk unvermeidlich ist, kann durch das ganz willkührliche Verhältniß des Getriebes zum grossen

*) Man könnte zwar durch Vorgelege mit Rad und Getriebe eine solche Einrichtung treffen, daß mehrere Kolbenhübe auf eine Umdrehung des Wasserrades kämen. Doch würde die Maschine hiedurch mehr complizirt, und mehreren Zufällen und Reparaturen ausgesezt. Auch ist ohnehin dergleichen Räderwerk, wenn es nicht ganz von Eisen gemacht wird, bey einer solchen Wasserkunst wegen der beständigen Nässe nicht wohl anwendbar.

grossen Kammrade die Anzahl der Kolbenhübe nach Gutdünken grösser oder kleiner angenommen werden, welches auch bey Windmühlen der Fall ist.

§. 96.

Ist einmal die Anzahl der Kolbenhübe, welche in einer Minute geschehen sollen, festgesezt, so kömmt es zunächst darauf an, die Länge des Hubes zu bestimmen, und es ist hiebey folgendes zu bemerken.

Es sey die Zeit eines ganzen Kolbenspieles T, die mittlere Geschwindigkeit des Kolben c, so ist

$$T = \frac{60}{n} \text{ Sekunden,}$$

und, wenn der Kolben in derselben Zeit aufgezogen wird, als er niedergeht, (wie bey allen Maschinen mit doppelten Sätzen der Fall ist) so hat man

$$\tfrac{1}{2} T = \frac{b}{c}$$

$$c = \frac{2b}{T} = \frac{bn}{30},$$

Folglich $$b = \frac{30 . c}{n},$$

und $$M = 30 . c\ W.$$

Da nun die beyden Faktoren c, W sehr mannigfaltiger Abänderungen fähig sind, ohne daß der Werth des Produktes (die in einer Minute ausgegossene Wassermenge) eine Veränderung leidet, und es also in dieser Rücksicht gleichgiltig scheint, in welchem Verhältnisse diese beyden Grössen gegen einander stehen, so entsteht hier folgende für die Ausübung sehr wichtige Frage:

Ist es in Rücksicht auf die Wirkung der Maschine oder auf Krafterspariß vortheilhafter, die Kolben langsam spielen zu lassen, und ihnen dafür eine grössere Oberfläche zu geben, oder umgekehrt? das heißt mit andern Worten: Sind enge Kolbenröhren mit einem langen Hube oder weite Kolbenröhren mit einem kürzeren Hube vorzuziehen?

Da

Da bey jedem Kolbenhube ein dreyfacher Widerstand zu überwinden ist, der hydrostatische, der hydraulische und der mechanische, (§. 69... §. 81.) so ist offenbar diejenige Einrichtung die vortheilhafteste, bey welcher die Summe der Momente dieser drey Lasten am geringsten wird; wir wollen daher die Untersuchung dieses Gegenstandes für jede insbesondere vornehmen.

§. 97.

Es sey abcd Fig. 37. eine gewöhnliche Saugpumpe die ganze Höhe vom Wasserspiegel bis zum Ausguß = H, die Weite des Kolbenrohrs = W, so ist der hydrostatische Druck auf den Kolben = WH. Die Kolbenstange sey an dem Ende A des doppelarmigen Hebels ACB befestigt, und werde durch eine an dem andern Endpunkte B angebrachte Kraft P in die Höhe gezogen, so daß der Kolben mm bis zu nn auf die Höhe mn = Aa steigt, indem der von der Kraft angegriffene Punkt den Weg Bβ zurücklegt. Ist nun die (mittlere) Geschwindigkeit des lezten v, die Geschwindigkeit des Kolbens c, so muß

$$P\,v = WH.\,c$$

also

$$P = WH.\,\frac{c}{v}$$

seyn. Nun sey abcd Fig. 38. eine andre Pumpe, deren Kolbenrohr die Weite $w < W$ hat, die ganze Wasserhöhe aber vom Sumpf bis zum Ausguß dieselbe = H, so ist der hydrostatische Druck auf dem Kolben = wH. Dieser Kolben werde durch einen eben so langen doppelarmigen Hebel AB (bey welchem aber der Ruhepunkt c in einer grössern Entfernung vom Anhängpunkte A angebracht ist) auf die Höhe mn = Aa gehoben, indem der von der Kraft Ṕ angegriffene Punkt B denselben Weg Bβ zurücklegt. Geschieht nun dieses in derselben Zeit, wie bey der Pumpe Fig. 35, so ist die Geschwindigkeit der Kraft wieder v, die Geschwindigkeit des Kolben hingegen $C > c$, und es muß hier

$$P'.v = wH.\,C,$$

und

$$P' = wH.\,\frac{C}{v}$$

seyn. Man hat daher

$$P'v : Pv = wH.\,C : WH.\,c$$

oder

$$P' : P = wC : Wc.$$

Wenn

Wenn nun in beyden Fällen dieselbe Menge Wasser ausgegossen werden soll, so muß $w C = W c$ seyn, und dann wird $P = P$. Hieraus folgt

Daß es in Rücksicht auf den hydrostatischen Widerstand vollkommen gleichgiltig sey, ob das Kolbenrohr weit, und der Hub kurz, oder ob dieser lang, und jenes enger sey, wenn der kubische Inhalt oder das Produkt aus der Kolbenfläche in die Länge des Hubes in beyden Fällen gleich groß ist.

§. 98.

Wenn der hydraulische Widerstand gegen den mit der Geschwindigkeit c aufwärts bewegten Kolben m m Fig. 35, Q heißt, und der von den Verhältnissen der Pumpe abhangende Koeffizient (wie oben §. 69.) B, so ist $Q = W . \frac{c^2}{4g} . B$, das Moment dieses Widerstandes $Q c = W c . B \frac{c^2}{4g}$, und das zur Ueberwindung desselben erforderliche Kraftmoment am Endpunkte B, oder $p . v = W c . B . \frac{c^2}{4g}$.

An der andern Pumpe Fig. 36. sey dieser Widerstand $q = w . \frac{C^2}{4g} . \acute{B}$, und die zur Ueberwindung desselben am andern Ende des Hebels nöthige Kraft $\acute{p}$, so muß

$$\acute{p} v = q C = w C . \acute{B} . \frac{C^2}{4g}$$

seyn, und man hat demnach

$$p v : \acute{p} v = W c . B \frac{c^2}{4g} : w C . \acute{B} . \frac{C^2}{4g}$$

$$\text{oder } p : \acute{p} = W c^3 . B : w C^3 . \acute{B} .$$

Ist nun in beyden Fällen die Weite der Saugröhren und Ventilöfnungen gleich groß, so wird ziemlich nahe

$$\acute{B} : B = w^2 : W^2$$

$$\text{also } \acute{B} = B . \frac{w^2}{W^2}$$

seyn, folglich (unter dieser Voraussetzung)

$p : \acute{p}$

$$p : p' = W c^3 . B : w C^3 . B . \frac{w^2}{W^2}$$

$$= W c^3 : w C^3 . \frac{w^2}{W^2} .$$

Aber wenn in beyden Fällen dieselbe Wassermenge ausgeschüttet werden soll, so muß auch

$$w C = W c$$

seyn. Dieß giebt $C = c . \frac{W}{w}$; $C^2 = c^2 . \frac{W^2}{w^2}$, und

$$p : p' = W c . c^2 : w C . c^2$$

$$= W c : w C$$

also $p = p'$.

Es ist daher auch in Rücksicht auf den hydraulischen Widerstand bey einer Saugpumpe vollkommen gleichgiltig, ob man sich eines weiten Kolbenrohrs mit einem kurzen Hube, oder eines engern Kolbenrohrs mit einem längern Hube bebediene, wenn in beyden Fällen dieselbe Wassermenge ausgegossen wird. *)

§. 99.

---

*) Nämlich unter der Voraussetzung, daß Saugröhren und Ventilöfnungen in beyden Fällen einerley Weite haben. Wenn man das Verhältniß dieser Weiten gegen die Weite des Kolbenrohrs für beyde gleich, also $B' = B$ sezt, so wird freylich $p : p' = \frac{C^2}{4g} : \frac{c^2}{4g} = w^2 : W^2$, folglich der hydraulische Widerstand umgekehrt wie das Quadrat der Kolbenflächen, oder die vierte Potenz der Durchmesser der Kolbenröhren. Die Folgerung würde aber sehr übereilt seyn, wenn man hieraus den Schluß ziehen wollte, daß die weitern Kolbenröhren den engern vorzuziehen wären; da im Grunde weiter gar nichts dadurch bewiesen wird, als daß weite Saugröhren und Ventilöfnungen vortheilhafter sind als enge. Es steht aber nichts im Wege, bey einem engen Kolbenrohr ein eben so weites Saugrohr wie bey einem weitern vorzurichten, oder wohl gar dem Saugrohr, wenn es dienlich wäre, einerley Weite mit dem Kolbenrohr zu geben. Ein gewisses festgesetztes Verhältniß zwischen dem Durchmesser der Saugröhre und dem Stiefel gehört, meiner Meinung nach, zu den sinnlosen Handwerksregeln, da es offenbar bey Bestimmung der Weite des Saugrohrs nicht auf die Weite des Stiefels allein, sondern auf das Produkt derselben in die Geschwindigkeit des Kolbens, d. i. auf die in einer Sekunde durch die Saugröhre strömende Wassermenge ankömmt.

§. 99.

Wenn v die Höhe einer Wassersäule von der Grundfläche W ist, deren Gewicht auf die Beschleunigung des Kolben eben so wirkt, als alle mit ihm zugleich in Bewegung gesezte Massen; b die Länge des Hubes m n; t die Zeit desselben, und B den Koeffizienten des hydraulischen Widerstandes anzeigt, so ist, gemäß §. 81, der mechanische Widerstand bey der Pumpe Fig. 37.

$$W \cdot \frac{v}{4gt^2}\left(2{,}77\ b + 1{,}92.. \frac{v}{B}\right)$$

Folglich das Moment desselben

$$W\,c. \frac{v}{4gt^2}\left(2{,}77.. b + 1{,}92.. \frac{v}{B}\right)$$

Heißt die zur Ueberwindung dieses Widerstandes am Endpunkte B des Hebels AB erforderliche Kraft π, so muß das Moment derselben dem Momente des ersten gleich, folglich

$$\pi V = W c. \frac{v}{4gt^2}\left(2{,}77.. b + 1{,}92.. \frac{v}{B}\right)$$

seyn.

Nun sey die Länge des Hubes in der Pumpe Fig. 38. m n $= \beta$; die Höhe einer Wassersäule, deren Moment der Trägheit auf der Kolbenfläche die Momente der Trägheit aller in Bewegung gesezten Massen vorstellt, $= \zeta$, und die Kraft, welche am andern Endpunkte des Hebels zur Ueberwindung dieses Widerstandes angebracht werden muß, π', so wird

$$\pi' V = w C. \frac{\zeta}{4gt^2}\left(2{,}77.. \beta + 1{,}92.. \frac{\zeta}{B'}\right)$$

also

$$\pi' : \pi = \zeta\left(2{,}77.. \beta + 1{,}92.. \frac{\zeta}{B}\right) : v\left(2{,}77.. b + 1{,}92.. \frac{v}{B}\right)$$

weil der Voraussetzung gemäß w C $=$ W c, und in beyden Fällen der Hub in derselben Zeit vollendet wird.

Eben daher ist aber auch $\beta : b = W : w$,

$$\text{daher } \beta = b \cdot \frac{W}{w}.$$

Ferner ist beynahe $B' = B \cdot \frac{w^2}{W^2}$, wenn die Saugröhren und Ventilöfnungen in beyden Fällen gleich weit sind.

Folglich

$$\pi' : \pi = \zeta \left(2{,}77 \,..\, b \cdot \frac{W}{w} + 1{,}92 \,..\, \frac{\zeta \cdot W^2}{B \cdot w^2} \right) : v \left(2{,}77 \,..\, b + 1{,}92 \,..\, \frac{v}{B} \right).$$

Wenn man aber bedenkt, daß bey einem weitern Kolbenrohr nicht nur das absolute Gewicht der zu hebenden Wassersäule grösser wird, sondern auch (wegen der grössern Last) Kolben, Kolben- und Schachtstangen, Hebel und überhaupt alle Theile der Maschine, welche zugleich mit dem Kolben bewegt werden, um so viel stärker, folglich schwerer gemacht werden müssen, so sieht man, daß die ganze Summe der in Bewegung zu setzenden Massen ohngefähr in gleichem Maaße mit der Weite des Kolbenrohrs zunimmt, mithin sehr nahe $\zeta : v = w : W$ wird. Sezt man daher $v \cdot \frac{W}{w}$ statt ζ in die obige Proportion, so ergiebt sich,

$$\pi' : \pi = \left(2{,}77 \,..\, b + 1{,}92 \,..\, \frac{v \cdot W}{B \cdot w} \right) : \left(2{,}77 \,..\, b + 1{,}92 \,..\, \frac{v}{B} \right)$$

also $\pi' > \pi$.

Das Moment des mechanischen Widerstandes ist daher bey einem engen Kolbenrohr mit langem Hube verhältnißmässig grösser als bey einem weitern Kolbenrohr mit kürzerm Hube.

Doch nur unter der Voraussetzung, daß die Saugröhren, und Ventilöfnungen in beyden Fällen gleichweit sind. Wird das Verhältniß derselben zum Kolbenrohr gleich, d. i. $B' = B$ angenommen, so ergiebt sich im Gegentheil

$$\pi' : \pi = \left(2{,}77 \cdot b + 1{,}92 \frac{v \cdot w}{B \cdot W} \right) : \left(2{,}77 \,..\, b + 1{,}92 \,..\, \frac{v}{B} \right)$$

mithin $\pi' < \pi$.

§. 100.

Obwohl nun aus theoretischen Gründen der Vortheil (wenigstens in Rücksicht auf den Widerstand der Trägheit) auf die Seite der langsamern Bewegung, folglich der weitern Kolbenröhren mit kurzem Hube zu fallen scheint, so sind doch dagegen einige praktische Gründe in Erwägung zu ziehen.

Fürs erste weiß man aus der Erfahrung, daß es nicht möglich ist, ein Kolbenrohr so genau auszubohren, oder den Kolben so scharf zu ledern, daß nicht zwischen beyden etwas Wasser durchdringe, welches als reiner Verlust von der auf jeden Hub ausgegossenen Wassermenge abgeht. Es ist aber die Menge des auf diese Art unnütz entwischenden Wassers offenbar bey einem weitern Kolbenrohr mit langsamen Hube in doppeltem Verhältnisse grösser, als bey einem kleinen Kolben mit schnellerer Bewegung.

Zweytens, müssen bey einem weitern Kolbenrohr, wegen der grössern absoluten Last, alle Theile der Maschine verhältnißmässig stärker und schwerer gemacht werden, wodurch nicht nur die Reibung an allen Zapfen, Gelenken u. d. g. sondern auch die Unkosten der Anlage und der Unterhaltung um ein beträchtliches vermehrt werden.

Drittens, ist die genaue Anfertigung eines weiten Zylinders, sowohl was den Guß, als was das Ausbohren betrift, immer mit mehr Schwierigkeiten verknüpft, als jene eines engeren. Auch sind die bey einer beständig gangbaren Kunst sehr bedeutenden Liederungskosten desto beträchtlicher, je weiter die Kolbenröhren sind.

Man kann daher überhaupt als eine praktische Regel annehmen, daß (bey festgesezter Anzahl der Kolbenhübe) ein mässig langer Hub mit einem engen Kolbenrohr einem weiten Zylinder mit einem kurzen Hube vorzuziehen sey.

Da es aber unmöglich ist, das schicklichste Verhältniß zwischen beyden allgemein für alle möglichen Fälle zu bestimmen, so kann man sich mit folgender Regel begnügen:

Die

Die mittlere Geschwindigkeit des steigenden Kolben sey nie kleiner als 9 Zoll oder $\frac{3}{4}$ Fuß, und nie grösser als $2\frac{1}{2}$ Fuß.*)

In Fällen, wo die mit dem Kolben zugleich in Bewegung zu setzenden festen Theile für sich eine beträchtlichere Masse als die Wassersäule selbst ausmachen, z. B. bey einem langen Feldgestänge, ist eine langsame Bewegung, in allen übrigen Fällen ein lebhafteres Kolbenspiel vorzuziehen.

Hieraus folgt, wenn n bestimmt ist, für den geringsten Werth von $c = \frac{3'}{4}$

$$b = \frac{30 \cdot \frac{3}{4}}{n} = \frac{22,5}{n},$$

Für den größten Werth von $c = 2,5'$

$$b = \frac{30 \cdot 2,5}{n} = \frac{75}{n}.$$

§. 101.

Da ein langer Hub auch ein langes Kolbenrohr erfordert, dieses aber aus einem Stücke (in Deutschland) nicht füglich länger als 8 bis 9 Fuß gegossen werden kann, so wird der größtmögliche Werth von b (nach gewöhnlicher Einrichtung) nicht über 7 bis 8 Fuß betragen. Dieß gäbe, für die geringste Geschwindigkeit des Kolben,

$$8 = \frac{22,5}{n}$$

oder $n = 2,81.$

Für die größte Geschwindigkeit aber

$$8 = \frac{75}{n}$$

oder $n = 9,47.$

Man

*) Bey den meisten englischen Dampfmaschinen ist die mittlere Geschwindigkeit der Kolben 3 Fuß, bey einigen noch grösser; doch ist eine so schnelle Bewegung nicht vortheilhaft.

Man müßte demnach in solchen Fällen, da die Rechnung einen für die Ausführung zu grossen Werth von b gäbe, dafern mit n keine Veränderung angeht, die Kolbenweite W etwas gröſſer annehmen.

§. 102.

Wenn man die Bestimmung von n und b vollkommen in seiner Gewalt hätte, so könnte die Frage aufgeworfen werden:

Ob viele und kurze Hübe, oder wenigere, aber desto längere Hübe (bey einerley Weite und Geschwindigkeit des Kolben) vortheilhafter seyen?

Es sey z. B. die mittlere Geschwindigkeit des Kolben festgesezt $c = 1'$; die Weite desselben $w = 1$ Quadrat Fuß, so ist $b = \frac{30 \cdot c}{n}$ (§. 87.) $= \frac{30}{n}$, also $b \cdot n = 30$. Nun ist die Frage: ob es vortheilhafter sey,
$n = 2$ und $b = 15$, oder $n = 3$ und $b = 10$, oder
$n = 4$ und $b = 7\frac{1}{2}$, oder $n = 5$ und $b = 6$, oder
$n = 6$ und $b = 5$, oder $n = 10$ und $b = 3$ zu machen, da für jeden dieser Fälle die mittlere Geschwindigkeit des Kolben dieselbe $= 1$ Fuß in der Sekunde bleibt, und auch das Produkt nb, folglich nbW oder die in der Minute gehobene Wassermenge gleich groß $= 30$ ausfällt? —

Auf diese Frage nehme ich nicht den geringsten Anstand, mich ganz für den geringstmöglichen Werth von n und den gröſtmöglichen von b zu erklären. Meine Gründe sind folgende:

1) Bey jedem Wechsel der Bewegung des Kolbens, d. i. zweymal bey jedem Kolbenspiele fällt in der Zwischenzeit, da die Klappen auf- und zugehen, unvermeidlich einiges Wasser aus dem Kolbenrohr in das Saugrohr zurück, welches ganz unnütz verloren geht. Der hiedurch verursachte Abgang von dem in einer Minute gehobenen Wasser wird daher desto beträchtlicher seyn, je mehr Hübe in derselben Zeit geschehen, und umgekehrt.

2) Bey jedem Wechsel des Kolbenspiels muß die unter und über dem Kolben befindliche schwere Wassermasse nebst allen beweglichen festen Theilen

der

der Maschine von neuem in Bewegung gesezt werden. Der Widerstand, den die Trägheit dieser Massen verursacht, ist im Anfange der Bewegung am größten, nimmt aber mit jedem Augenblick ab, so daß er, bey einer zweckmässigen Einrichtung, nach einigen Sekunden beynahe gänzlich verschwindet; und dann erst fängt die größte Wirkung an, und dauert bis ans Ende des Hubes, folglich desto länger, je länger dieser ist. Ist aber der Hub kurz, so bleibt die Beschleunigung bis ans Ende desselben beträchtlich, und die Kraft, welche nie in Beharrungsstand kömmt, wird daher nie ganz auf den eigentlichen oder nutzbaren Effekt verwendet, indem immer ein beträchtliches Uebergewicht bloß zur Ueberwindung der Trägheit erfordert wird. Je kürzer also der Hub ist, und je öfter er in einer Minute wiederholt wird, desto bedeutender muß die Summe der bloß wegen der Trägheit unnütz verlornen Kraftmomente seyn.

Ich glaube daher als eine der wichtigsten praktischen Regeln festsetzen zu dürfen:

Man gebe den Kolben einen so langen Hub, als es sich in der Ausübung nur immer thun läßt, und suche, wo möglich, eine solche Einrichtung zu treffen, daß dagegen die Anzahl der Kolbenhübe in einer Minute vermindert werde.

Bey Pumpen, welche durch Wassersäulen- oder Dampfmaschinen betrieben werden, da man die Bestimmung der Grössen W, b und n ganz in seiner Gewalt hat, ist dieser Grundsatz sehr leicht zu beobachten, und es liegt eben hierinn einer der wesentlichsten Vorzüge dieser Maschinen, daß man ihnen einen sehr langen Hub geben kann *), welches bey Wasserrädern nicht so wohl angeht. Indessen behalte ich mir vor, bey einer andern Gelegenheit die Mittel anzuzeigen, wodurch man diesen Zweck auch bey den gewöhnlichen Kunsträdern erreichen kann.

§. 103.

---

*) In diesem Stücke (so wie in dem schicklichern Verhältniß der Weite der Einfallsröhren) gebührt den ungar'schen Wassersäulenmaschinen der Vorzug vor den Sächsischen. — Bey den englischen Dampfmaschinen ist der geringste Hub der Pumpkolben 6′, der längste 10′ bis 11′ lang; die Anzahl der Kolbenspiele in der Minute 8 bis 16.

§. 103.

Bey einem aus zweyen Sätzen bestehenden Saug- und Hebwerk ist die in einer Minute ausgegossene Wassermenge

$$M = 2\,W.b.n,$$

weil jede Pumpe in derselben Zeit n mal ausschüttet. Es können aber 3, 4 und mehrere Sätze nebeneinander so geordnet werden, daß ihre Kolben wechselweise in gleich auf einander folgenden Zeiträumen steigen und fallen, und es ist daher allgemein, wenn N die Anzahl der auf derselben Höhe ausgiessenden Sätze ist,

$$M = N.W.b.n.$$

Wenn nun für eine gegebene Wassermenge die vortheilhaftesten Werthe von b und n festgesezt sind, so hat man

$$N.W = \frac{M}{b.n},$$

und es sind die beyden Faktorn N und W unter sich noch mannigfaltiger Abänderungen fähig, ohne daß der Werth des Produkts eine Aenderung leidet. Dieß führt demnach auf eine neue praktische Frage:

> Ist es, bey einerley Anzahl und Länge der Hübe, vortheilhafter, mehrere Sätze von geringer Weite, oder wenigere, aber desto weitere, Sätze nebeneinander vorzurichten?

Es sey z. B. die in einer Minute zu hebende Wassermenge $M = 40$ Kub. Fuß, die bestimmte Länge der Kolbenhübe $b = 4$ Fuß, und die Anzahl derselben in der Minute $n = 5$. so ist $N.W = \frac{40}{4.5} = 2$. Nun frägt sich, soll man $N = 2$, und $W = 1$ Quadratfuß, oder $N = 4$, und $W = \frac{1}{2}$ Quadratfuß, oder $N = 8$, und $W = \frac{1}{4}$ Quadratfuß nehmen, da in jedem dieser Fälle das Produkt $N.W = 2$ wird, mithin auch die in einer Minute gehobene Wassermenge theoretisch unverändert $= 40$ bleibt.

Wenn man bedenkt, daß eine solche Maschine desto einfacher wird, je geringer die Anzahl der Sätze, folglich der Stiefel, Röhren, Kolben, Ventile u. d. gl. ist; daß die Anfertigung zweyer Sätze von bestimmter Weite ungleich mehr Kosten, Reibung, Abnützung und Reparaturen verursacht, und daß dieselben dabey ohn-

ohngefähr zweymal so viel Raum einnehmen als ein einzelner Satz von doppelter Weite, (Gewicht, Reibung und Abnützung des Leders steht im Verhältniß der Stiefel Durchmesser, ihre Weite hingegen im Verhältniß der Quadrate der Durchmesser) so sollte man allgemein die möglich geringste Anzahl der nebeneinander gestellten Pumpen vorziehen, und es wäre, in dieser Rücksicht, N = 1 besser als N = 2, und N = 2 besser als N = 4.

Zieht man aber zugleich die Art, wie die bewegende Kraft angebracht ist, mit in Betrachtung, so ergiebt sich, (wenn diese zu den beständig ununterbrochen wirkenden gehört) aus der Vervielfältigung der Pumpen, und der dadurch erhaltenen gleichförmigern Vertheilung der Last ein auffallender Vortheil, der durch den Umstand, daß bey einer solchen Einrichtung das Gewicht der Kolben, Kolben- und Schachtstangen u. d. gl. sich wechselweise aufhebt, folglich die Kraft keine andere Last als jene des Wassers zu heben hat, noch wichtiger wird.

Hieraus folgt, daß bey allen, durch Räder zu bewegenden, Pumpwerken, N wenigstens = 2 genommen werden müsse; und daß der Gang dieser Maschinen überhaupt desto gleichförmiger und saufter seyn wird, je grösser N ist. (Vorausgesezt, daß das Steigen und Fallen der Kolben wechselweise in gleich auf einander folgenden Zeiträumen geschehe).

Da indessen die Erfahrung lehrt, daß ein Rad, bey welchem die Last an vier unter rechten Winkeln gestellten Krummzapfen angebracht, oder ins Viertel getheilt ist, (besonders wenn solches dabey etwas schwer und seine Bewegung schnell genug ist, daß es zugleich als Schwungrad wirken kann,) einen sehr steten und gleichförmigen Gang hat, und daß durch eine weitere Vervielfältigung der Sätze in dieser Rücksicht nichts mehr gewonnen, wohl aber der Widerstand der Reibung vermehrt, und die Maschine unnöthigerweise komplizirt und kostbarer wird, so kann man sich auch hier an den bekannten Grundsatz: *Quod potest fieri paucis, non debet fieri multis* halten, und daher als eine allgemeine Regel annehmen:

Die Anzahl der nebeneinander gestellten Sätze sey (bey Radbewegungen) nie kleiner als 2, und nie grösser als 4.*)

Die

*) Wenn die Sätze übers Kreutz heben, wie Fig. 42, III Tafel, so wird die Last ins Halbe vertheilt, wenn in jeden Kasten nur ein einziger Satz ausgießt.

Die Stellung ins Drittel mit drey Sätzen ist wegen der ungleichen Vertheilung der Last, da immer zwey Kolben nach einer, und der dritte nach der andern Richtung sich bewegen, und auch besonders aus dem Grunde nicht zu empfehlen, weil hiebey der wesentlichste Vortheil, die Balanzierung der Kolben- und Schachtstangen, verloren geht.

§. 104.

Aufgabe. Die Weite des Kolbenrohrs, der Saugröhre und der Ventilöfnung ist bestimmt, nebst der Länge des Hubes und der Zeit, in welcher derselbe vollendet werden soll. Man sucht die größtmögliche (saigere) Länge der Saugröhre.

Auflösung. Wenn die Höhe derjenigen Wassersäule, welche dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht hält, k; der lothrechte Abstand des Kolben in seiner tiefsten Stelle vom untern Wasserspiegel h; und die Länge des Hubes b heißt, so ist (nach §. 62.) die geringstmögliche Zeit des Aufzuges, in welcher nämlich das Wasser dem steigenden Kolben durch das Uebergewicht der untern Luftsäule nachgedrückt werden kann

$$= \frac{\sqrt{B}}{\sqrt{g}} \left[\sqrt{(k - h)} - \sqrt{(k - h - b)} \right].$$

Wenn nun die bewegende Kraft nicht unnütz verschwendet werden soll, so ist es (wie bereits oben §. 68. bemerkt worden) keineswegs hinreichend, daß das durch die Atmosphäre aufwärts gedrückte Wasser den steigenden Kolben eben einhole, sondern es muß vielmehr eine solche Einrichtung getroffen werden, daß die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser im Stiefel in der größten Höhe des Kolbens (wenn dieser gar nicht da, sondern oben ein ganz luftleerer Raum wäre) steigen würde, noch einen beträchtlichen Ueberschuß über die wirkliche Geschwindigkeit des Kolben behalte. Man muß daher, um auf alle Fälle, auch für eine etwas schnellere Bewegung, sicher zu seyn, die Zeit eines Kolbenhubes

$$t = 2 \cdot \frac{\sqrt{B}}{\sqrt{g}} \left[\sqrt{(k - h)} - \sqrt{(k - h - b)} \right]$$

setzen. Dieß giebt

$$\sqrt{(k-h-b)} = \sqrt{(k-h)} - \frac{t\sqrt{g}}{2\sqrt{B}}$$

$$k-h-b = k-h-\frac{t\sqrt{g}}{\sqrt{B}}\cdot\sqrt{(k-h)} + \frac{t^2 g}{4B}$$

$$\text{also } \sqrt{(k-h)} = \frac{\sqrt{B}}{t\sqrt{g}}\left(b + \frac{gt^2}{4B}\right)$$

$$k-h = \frac{B}{gt^2}\left(b+\frac{gt^2}{4B}\right)^2$$

$$\text{und } h = k - \frac{B}{gt^2}\left(b+\frac{gt^2}{4B}\right)^2.$$

Heißt nun die saigere Länge des Saugrohrs l; die Entfernung des Kolbens in seinem tiefsten Stande vom Thürel s, so ist $h = l + s$, folglich

$$l = k - s - \frac{B}{gt^2}\left(b+\frac{gt^2}{4B}\right)^2.$$

§. 105.

Aus der Betrachtung der leztgefundenen Gleichung fließt, daß die Saugröhren überhaupt desto kürzer gemacht werden müssen, je kleiner t, und je grösser B ist (so lange nämlich $\frac{gt^2}{4B}$ ein eigentlicher Bruch, wie fast immer der Fall ist), wenn die Bedingung, daß sich der Kolben mit der Hälfte derjenigen Geschwindigkeit bewege, mit welcher das Wasser ihm zu folgen im Stande ist, statt haben soll, und man sieht also, daß die Länge des Saugrohrs, bey einerley Geschwindigkeit des Kolben, desto kleiner angenommen werden muß, je enger die Ventilöfnung, und je kleiner der Durchmesser der Saugröhre selbst ist. Bey einem beträchtlichen Werthe von B und einem sehr kleinen t kann $\frac{B}{gt^2}\left(b+\frac{gt^2}{4B}\right)^2 = k - s$, oder wohl gar $> k - s$ werden, und dann giebt die Formel $l = o$, oder einen negativen Werth, welches anzeigt, daß das Ventil im Untertheile des Stiefels der äussern Wasserfläche gleich, oder noch unter derselben stehen müsse. Z. B. sey

B =

$B = 1000$; $t = 4$; $b = 3'$; $s = 1$; so ist, wenn man $g = 16$, und $k = 32$ nimmt, $l = 32 - 1 - \frac{1000}{256}\left(3 + \frac{256}{1000}\right)^2 = 31 - \frac{10601}{256} = 31 - 41{,}4 = -9{,}4$, das heißt: statt einem Saugrohr müßte bey diesen Verhältnissen der untere Theil des Stiefels 9,4 Fuß unter dem Wasserspiegel stehen, oder es müßte das Wasser aus einem 9,4 Fuß über der Ventilöfnung erhobenen Behälter durch eine Einfallsröhre in den Stiefel geleitet werden, wenn es dem Kolben nur mit doppelter Geschwindigkeit folgen sollte.

Da übrigens in dem Ausdrucke für B die Grösse l selbst enthalten ist, (§. 69.) und daher die genaue Entwickelung von l (wenn man den dortigen Werth von B in die lezte Formel, §. 104, setzen wollte) auf eine ziemlich komplizirte Gleichung vom dritten Grade führen würde, so kann man hier das in B enthaltene Glied $\frac{1}{53\,\delta}$, welches ohnehin meist unbedeutend ist, um so eher weglassen, als es bey Bestimmung der Länge des Saugrohrs auf die gröβte Schärfe keineswegs ankömmt, und jene Formel eigentlich nur die gröβte schickliche Länge desselben angiebt, wobey es in der Ausübung allemal frey steht, selbe noch kürzer anzunehmen. Man hat demnach

$$l = k - s - \frac{\left[b\left(2 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 - \frac{\varphi + a}{\omega}\right)\right) + g\tfrac{1}{4}t^2\right]^2}{gt^2\left(2 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 - \frac{\varphi + a}{\omega}\right)\right)}$$

§. 106.

Aufgabe. Die Weite des Stiefels W, die Zeit des Kolbenhubes t, und die Länge desselben b, nebst der Länge der Saugröhre l, sind bestimmt. Man soll den gröβtmöglichen Werth von B, d. i. die geringst thunliche Weite der Saugröhre und der Ventilöfnung angeben.

Auflösung. Aus der Gleichung für l (§. 104.) folgt

$$k - s - l = \frac{B}{gt^2}\left(b + \frac{gt^2}{4B}\right)^2,$$

gt^2

$$g t^2 \left(k - s - l \right) = \frac{\left(Bb + g. \frac{t^2}{4} \right)^2}{B},$$

also

$$Bg t^2 \left(k - s - l \right) = B^2 . b^2 + gBb. \frac{t^2}{2} + \frac{g^2 t^4}{16}.$$

Sezt man Kürze halber $k - s - l = q$, so wird

$$Bg t^2 q - B^2 . b^2 - gBb \frac{t^2}{2} = \frac{g^2 t^4}{16},$$

oder

$$Bg t^2 \left(q - \frac{b}{2} \right) - B^2 b^2 = \frac{g^2 t^4}{16}$$

und

$$B^2 b^2 - B . g t^2 \left(q - \frac{b}{2} \right) = - \frac{g. t^4}{16}$$

also $$B^2 - B. \frac{g t^2}{b^2} \left(q - \frac{b}{2} \right) = - \frac{g^2 t^4}{16 b^2}.$$

Das Quadrat ergänzt:

$$B^2 - B. \frac{g t^2}{b^2} \left(q - \frac{b}{2} \right) + \frac{g^2 t^4}{4 b^4} \left(q - \frac{b}{2} \right)^2 = \frac{g^2 t^4}{4 b^4} \left(q - \frac{b}{2} \right)^2 - \frac{g^2 t^4}{16 b^2}$$

Aus beyden Theilen die Wurzel gezogen

$$B - \frac{g t^2}{2 b^2} \left(q - \frac{b}{2} \right) = \frac{g t^2}{2 b^2} \sqrt{\left[\left(q - \frac{b}{2} \right)^2 - \frac{b^2}{4} \right]}$$

Folglich

$$B = \frac{g t^2}{2 b^2} \left[q - \frac{b}{2} + \sqrt{\left(\left(q - \frac{b}{2} \right)^2 - \frac{b^2}{4} \right)} \right]$$

$$= g t^2$$

$$= \frac{gt^2}{2b^2}\left[q - \frac{1}{2}b \mp \sqrt{\left(q^2 - qb\right)}\right]$$

$$= \frac{gt^2}{2b^2}\left[q - \frac{1}{2}b \mp q\sqrt{\left(1 - \frac{b}{q}\right)}\right]$$

$$= \frac{gt^2}{2b^2}\left[q\left(1 + \sqrt{\left(1 - \frac{b}{q}\right)}\right) - \frac{1}{2}b\right]$$

Das ist:

$$B = \frac{gt^2}{2b^2}\left[\left(k - s - l\right)\left(1 + \sqrt{\left(1 - \frac{b}{k - s - l}\right)}\right) - \frac{1}{2}b\right]$$

$$= \frac{gt^2}{2b^2}\left[k - s - l - \frac{1}{2}b + \sqrt{\left(\left(k - s - l - \frac{1}{2}b\right)^2 - \frac{1}{4}b^2\right)}\right].$$

§. 107.

Die leztgefundene Gleichung zeigt, daß B oder $2 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{1}{53^\delta} - \frac{\varphi + a}{\omega}\right)$ desto kleiner seyn müsse, je kürzer die Zeit des Hubes, je länger die Saugröhre, und je länger der Hub ist, und es gehört daher zur zweckmässigen Einrichtung der Maschine, daß man den Grössen ω, a und φ einen solchen Werth gebe, d. i. die Saugröhre, ihre untere Mündung, und die Ventilöfnung so weit mache, daß der lezterwähnte Ausdruck wenigstens nicht grösser als

$$\frac{gt^2}{2b^2}\left[k - s - l - \frac{1}{2}b + \sqrt{\left(k - s - l - \frac{1}{2}b\right)^2 - \frac{1}{4}b^2}\right]$$

ausfalle.

Wenn man (wie es für jeden Fall geschehen kann und soll) die Schlundöfnung (oder die Summe der kleinen Oefnungen, durch welche das Wasser in die Saugröhre eingezogen wird) dem Querschnitt der Röhre gleich macht, so wird, mit Rücksicht auf die hier stattfindende Zusammenziehung der ersten Art,

$$a = 0{,}8 : \omega.$$

Wenn

Wenn man (wie es auch jedesmal thunlich und schicklich ist) den Durchmesser der Ventilöfnung dem Durchmesser der Saugröhre gleich macht, so kann man, mit Rücksicht auf die Zusammenziehung, auf den Widerstand der Klappe, und auf die durch den Steg (bey doppelten Flügelklappen) verursachte Verminderung des eigentlichen Querschnittes, allgemein

$$\varphi = 0{,}3 \cdot \omega$$

annehmen. Hienächst verwandelt sich demnach obiger Ausdruck in folgenden:

$$B = 2 + \frac{W^2}{0{,}09\,\omega^2} + \frac{W^2}{0{,}64\,\omega^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{1}{53\delta} - \frac{0{,}8 + 0{,}3}{1}\right)$$

oder, wenn man den Bruch $\frac{1}{53\delta}$ als unbedeutend vernachlässigt,

$$B = 2 + \frac{W^2}{\omega^2}\left(\frac{1}{0{,}09} + \frac{1}{0{,}64} + 1 - 1{,}1\right)$$

$$= 2 + \frac{W^2}{\omega^2}\left(11{,}11 + 1{,}462\right) = 2 + 12{,}573 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}$$

wofür man

$$B = 2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}$$

setzen kann. So erhält man allgemein

$$2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2} = \frac{gt^2}{2b^2}\left[q - \frac{1}{2}b + \sqrt{\left(q^2 - qb\right)}\right]$$

also
$$\frac{\omega^2}{W^2} = \frac{25{,}2 \cdot b^2}{gt^2\left(q - \frac{1}{2}b + \sqrt{\left(q^2 - qb\right)}\right) - 4b^2}$$

und
$$\frac{\omega}{W} = \frac{5{,}019 \cdot b}{\sqrt{gt^2 \cdot \left[q - \frac{1}{2}b + \sqrt{\left(q^2 - qb\right)}\right] - 4b^2}}.$$

Es sey z. B. $b = 4$,

$t = 3$,

$k = 32$,

$l = 25$,

$s = 1$,

also $q = k - (l + s) = 32 - 26 = 6$,

so fände man

$$\frac{\omega}{W} = \frac{5{,}019 \cdot 4}{\sqrt{15{,}09 \cdot 9\left[6 - 2 + \sqrt{(36 - 24)}\right] - 4 \cdot 16)}}$$

$$= \frac{20{,}076}{\sqrt{(949{,}6994)}} = \frac{20{,}076}{30{,}815} = \frac{2}{3} \text{ beynahe.}$$

In diesem Falle wäre demnach 2:3 das geringstschickliche Verhältniß der Weite des Saugrohrs zur Weite des Stiefels, und es dürfte, wenn der Durchmesser des leztern D ist, der Durchmesser des erstern δ nicht kleiner als $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot D = \frac{14}{17} D$ genommen werden, wobey noch dazu vorausgesezt wird, daß sowohl die untere oder Schlundöfnung, als die obere oder Ventilöfnung mit der Saugröhre selbst einerley Weite habe, indem bey der geringsten Verengerung dieser beyden Querschnitte das Wasser dem Kolben, wenn er nur ein bisgen schneller bewegt würde, schon nicht mehr folgen könnte.

§. 108.

Wenn man das hier empfohlene Verhältniß der Saugrohröfnungen allgemein beobachtet, so daß für jeden Fall der Widerstandskoeffizient für den steigenden Kolben

$$B = 2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2},$$

bleibt, so erhält man (nach §. 81.) den hydraulischen Widerstand beym Steigen des Kolben allemal

$$= W \cdot \left(2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}\right) \cdot \frac{b^2}{4 g t^2},$$

und

und den mechanischen Widerstand

$$= W \cdot \frac{v}{4gt^2}\left(2{,}77 \cdot b + 1{,}92 \cdot \frac{v}{2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}}\right),$$

oder das ganze zur Bewegung erforderliche Uebergewicht

$$W \cdot z = W \cdot \frac{\left(2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}\right)}{4gt^2} \cdot \left(b + 1{,}39 \cdot \frac{v}{2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}}\right)^2$$

so wie, nach §. 105, die grösstthunliche Länge des Saugrohrs

$$l = k - s - \frac{2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}}{gt^2}\left(b + \frac{gt^2}{8 + 50{,}4 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}}\right)^2$$

§. 109.

Die in den bisherigen Formeln vorkommende Grösse k zeigt die Höhe einer Wassersäule (reines Wasser) an, welche mit dem Druck der Atmosphäre im Gleichgewicht steht. Da nun die Grösse dieses Druckes an verschiedenen Stellen, d. i. in verschiedenen Erhöhungen über der Meeresfläche verschieden, und selbst mit der Witterung unaufhörlichen Abänderungen unterworfen ist, so läßt sich kein allgemeiner Werth von k festsetzen, sondern man muß solchen für jeden einzelnen Fall an der Stelle, wo eine Saugpumpe angelegt werden soll, besonders bestimmen. Man muß aber hiebey allemal nur auf den geringsten Druck rechnen, weil sonst, bey etwas langen Saugröhren, jede in der Atmosphäre vorgehende Veränderung einen zu merklichen Einfluß auf die Geschwindigkeit des in denselben steigenden Wassers haben würde, wie dieß auch bey denen in Bergwerken üblichen, meist auf den höchsten Luftdruck gerichteten, Saugwerken wirklich der Fall ist, welche (als wahre Wasserbarometer) bey stürmischem Wetter, nach der Sprache der Bergleute, matt heben, das heißt, bey der gewöhnlichen Umlaufsgeschwindigkeit der Kunsträder

(weil

(weil das Wasser die Kolben nicht einholen kann) nicht mehr ihren vollen Hub Wasser ausschütten.*)

Man beobachte also an der Stelle, wo die Pumpe angelegt werden soll, den niedrigsten Barometerstand, multiplizire solchen mit 13,59 (der spezifischen Schwere des Queckſilbers) und dividire das Produkt durch 12, so giebt der Quotient den Werth von k in Fußmaaße, für reines Regenwasser, dessen spezifische Schwere = 1 angenommen wird. Hat man aber Wasser von grösserer spezifischer Schwere zu heben, so muß dieselbe erst durch einen Versuch bestimmt, und hiernach auch der Werth von k abgeändert werden.

Es sey die spezifische Schwere des zu hebenden Wassers = β, die tiefste Barometerhöhe in Zollen = ψ, so hat man allgemein

$$k = \frac{13{,}59 \cdot \psi}{12 \cdot \beta} = \frac{1{,}1325 \cdot \psi}{\beta}$$

Auf Salzwerken ist, nach Angabe des Herrn Rath Langsdorf, die spezifische Schwere einer jeden ζ löthigen Soole

$$= 1 + 0{,}00728 \cdot \zeta,$$

Folglich für Pumpen, durch welche Soole zu Tage, oder auf Gradierhäuser, oder auf Pfannen gehoben werden soll, allgemein

$$k = \frac{1{,}1325 \cdot \psi}{1 + 0{,}00728 \cdot \zeta}.$$

Wäre z. B. an einem Orte $\psi = 28$ Zoll, und es sollte k für 18 löthige Soole bestimmt werden, so fände man

$$k = \frac{1{,}1325 \cdot 28}{1 + 0{,}00728 \cdot 18} = 28{,}2 \text{ Fuß},$$

Da, für reines Regenwasser, bey derselben Barometerhöhe, $k = 31{,}7'$ wäre.

§. 110.

*) Dieser Umstand ist ein neuer Beweiß, wie nachtheilig zu lange und enge Saugröhren sind.

§. 110.

Die §. 105 und §. 107. angegebenen Bestimmungen für 1 und $\frac{W}{\omega}$ geben keineswegs die vortheilhaftesten Werthe dieser Grössen, sondern eigentlich nur die Gränzen an, die man bey der Anlage eines Saugwerks nicht überschreiten soll. Denn da die dortigen Rechnungen auf die Voraussetzung gegründet sind, daß der Kolben mit der Hälfte derjenigen Geschwindigkeit steige, mit der das Wasser von dem Uebergewicht der Atmosphäre auf dieselbe Höhe in den Stiefel hinaufgedrückt werden kann, so würde, bey einem so schwachen Ueberschuße der Geschwindigkeit des Wassers über jene des Kolben, lezter, auch bey einer geringen hydrostatischen Höhe, immer beynahe den ganzen Druck der Luft von oben zu leiden haben, und der hydraulische Widerstand fiele daher, bey einem solchen Verhältnisse von ω: W, für kurze Saugröhren, noch viel zu beträchtlich aus, da im Gegentheile dieser Widerstand durch den größtmöglichen Ueberschuß der Geschwindigkeit des Wassers über jene des Kolben, so viel möglich, vermindert werden soll. (§. 68.)

Weil indessen eben dieser durch die Saugröhre und ihre Oefnungen verursachte Widerstand in einem gewissen Maaße dazu beyträgt, daß die Bewegung des Kolben früher in Beharrungsstand kömmt, oder sich schneller der gleichförmigen nähert, folglich der Widerstand der trägen Massen, oder der mechanische Widerstand (§. 81.) vermindert wird, so läßt sich auch die größtmögliche Erweiterung der Saugröhren ohne Gränzen so geradehin nicht empfehlen. Man sieht vielmehr, daß es ein gewisses Verhältniß dieser Grössen gegen einander geben muß, wobey die Summe aus dem hydraulischen und mechanischen Widerstande, oder das ganze zur Bewegung des Kolben erforderliche Uebergewicht ein Kleinstes wird: und es ist bey der Anlage einer hydraulischen Maschine, wenn man mit der gegebenen Kraft den möglich größten Effekt erhalten will, allerdings wichtig, dieses vortheilhafteste Verhältniß zu bestimmen.

§. 111.

Aufgabe. Es ist die Weite des Kolbenrohrs, die Länge und Zeit des Hubes, nebst der Länge der Saugröhre und des unnützen Raumes gegeben. Man sucht die vortheilhafteste Weite des Saugrohrs.

Auf-

Auflösung. In dem Ausdruck $z = \frac{B}{4gt^2}\left(b + 1{,}39 \cdot \frac{v}{B}\right)^2$ (§. 80.) setze man, Kürze halber, $1{,}39 \cdot v = e$; $4gt^2 = a$, und die veränderliche Grösse $B = x$, so hat man

$$z = \frac{x}{a}\left(b + \frac{e}{x}\right)^2$$

und es kömmt nun darauf an, denjenigen Werth von x zu finden, wobey die ganze Funktion ein Kleinstes wird.

$$\text{Es ist } \frac{x}{a}\left(b\,x\,\frac{e}{x}\right)^2 = \frac{(bx+e)^2}{ax} = \frac{b^2x^2 + 2bex + e^2}{ax}$$

$$= \frac{b^2 x}{a} + \frac{2be}{a} + \frac{e^2}{ax}.$$

Hievon ist das Differenzial

$$\frac{b^2\,dx}{a} + \frac{-e^2 a\,dx}{a^2 . x^2} = \frac{dx}{a}\left(b^2 - \frac{e^2}{x^2}\right)$$

$$= \frac{dx}{ax^2}\left(b^2x^2 - e^2\right)$$

Sezt man daher $dx\,(b^2x^2 - e^2) = 0$,

so wird

$$b^2 x^2\,dx = e^2\,dx$$

also $$b^2x^2 = e^2,$$

$$bx = e,$$

und $$x = \frac{e}{b}.$$

Folglich, wenn man statt x wieder B, und statt e wieder $1{,}39 \cdot v$ sezt,

$$B = \frac{1{,}39 \cdot v}{b}.$$

Das heißt: Wenn das zur Bewegung des Kolben erforderliche Uebergewicht ein Kleinstes seyn soll, so muß $B = 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}$ seyn.

Weil

Weil nun, wenn die beyden Oefnungen der Saugröhre (wie sichs gehört) einerley Weite mit derselben haben, gemäß §. 107, $B = 2 + 12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2}$, und, zufolge §. 89, allgemein $v = \theta + h + \lambda \cdot \frac{W}{\omega}$ ist, so hat man

$$12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2} = \frac{1{,}39\left(\theta + h + \lambda \frac{W}{\omega}\right) - 2}{b}$$

$$12{,}6 \cdot \frac{W^2}{\omega^2} - 1{,}39 \cdot \frac{\lambda \cdot W}{b \cdot \omega} = 1{,}39 \cdot \frac{\theta + h}{b} - 2$$

$$\frac{W^2}{\omega^2} - 0{,}1103 \frac{\lambda}{b} \cdot \frac{W}{\omega} = \frac{1{,}39\left(b + \theta\right) - 2b}{12{,}6 \cdot b}$$

Das Quadrat komplirt:

$$\frac{W^2}{\omega^2} - 0{,}1103 \frac{\lambda}{\omega} \cdot \frac{W}{\omega} + 0{,}003 \frac{\lambda^2}{b^2} = \frac{1{,}39\left(h + \theta\right) - 2b}{12{,}6 \cdot b} + 0{,}003 \cdot \frac{\lambda^2}{b^2}$$

Aus beyden Theilen die Wurzel gezogen:

$$\frac{W}{\omega} - 0{,}05515 \frac{\lambda}{b} = \pm \sqrt{\left(\frac{1{,}39\left(h + \theta\right) - 2b}{12{,}6 \cdot b} + 0{,}003 \cdot \frac{\lambda^2}{b^2}\right)}$$

Man sieht, daß hier das positive Zeichen gelten muß, also wird

$$\frac{W}{\omega} = 0{,}055 \cdot \frac{\lambda}{b} + \sqrt{\left(0{,}1103 \cdot \frac{h + \theta}{b} + 0{,}003 \cdot \frac{\lambda^2}{b^2} - 0{,}158\right)}.$$

Es sey z. B. $\lambda = 24$,

$b = 4$,

$h = 8$,

$\theta = 12$,

so fände man das vortheilhafteste Verhältniß der Weite des Stiefels zur Weite des Saugrohrs

$\frac{W}{\omega}$

$$\frac{W}{\omega} = 0{,}055 \cdot \frac{24}{4} + \sqrt{\left(0{,}1103 \cdot \frac{20}{4} + 0{,}003\left(\frac{24}{4}\right)^2 - 0{,}158\right)}$$

$$= 0{,}33 + \sqrt{0{,}5015}$$

$$= 0{,}33 + \sqrt{\frac{1}{2}} = 0{,}33 + \frac{1}{1{,}4142} = \frac{1{,}4666}{1{,}4142}.$$

Wäre der Durchmesser des Kolbenrohrs 12 Zoll, so gäbe dieß den Durchmesser der Saugröhre $11\frac{3}{4}$ Zoll beynahe.

Nun setze man für denselben Werth von λ und b, $h = 36$, und $\theta = 100$, so hätte man

$$\frac{W}{\omega} = 0{,}33 + \sqrt{3{,}7002} = 0{,}33 + 1{,}923$$

$$= 2{,}2535,$$

und es müßte der Durchmesser der Saugröhre 8 Zoll seyn, wenn der Durchmesser des Stiefels, wie vorhin, 12 Zoll wäre.

§. 112.

Wenn man in den Ausdruck $\frac{(bx+e)^2}{ax}$ den so eben gefundenen vortheilhaftesten Werth von $x = \frac{e}{b}$ setzt, so erhält man

$$\frac{(e+e)^2}{a\frac{e}{b}} = \frac{4e^2 \cdot b}{ae} = \frac{4be}{a}$$

als den geringst möglichen Werth dieser Funktion, und es ist also das geringst erforderliche Uebergewicht für den steigenden Kolben, bey der vortheilhaftesten Einrichtung, dem Gewichte einer auf demselben ruhenden Wassersäule gleich von der Höhe

$$z = \frac{4b \cdot 1{,}39 \cdot v}{4gt^2} = 1{,}39 \cdot \frac{v \cdot b}{gt^2}$$

§. 113.

§. 113.

Aus der lezten Gleichung folgt unmittelbar, daß, bey einerley Werthe von v, zur Bewegung des Kolben ein desto grösseres Uebergewicht erfordert werde, je länger der Hub und je kürzer die Zeit ist, in welcher derselbe vollendet wird. Man würde sich indessen sehr übereilen, wenn man hieraus gleich den Schluß ziehen wollte, daß die Einrichtung einer Saugpumpe desto vortheilhafter sey, je kürzer der Hub, und je langsamer die Bewegung ist. Denn da die vortheilhafteste Einrichtung einer jeden Maschine überhaupt nicht darinn besteht, daß der bewegenden Kraft der geringste Widerstand entgegen gesezt, sondern daß durch dieselbe eine bestimmte Wirkung mit dem geringstmöglichen Widerstande herfürgebracht werde, so hat man auch hier auf den Effekt, d. i. die in einer Sekunde oder Minute gehobene Wassermenge Rücksicht zu nehmen, und da diese (bey einerley Weite des Kolbenrohrs) desto grösser wird, je länger der Hub, und je kleiner die Zeit eines Kolbenhubes ist, so folgt aus jener Gleichung unmittelbar weiter nichts, als daß das Uebergewicht desto grösser seyn müsse, je grösser die in einer Sekunde oder Minute gehobene Wassermenge ist, welches auch sehr natürlich ist.

Um aber zu sehen, bey welcher Einrichtung das zur Bewegung erforderliche Uebergewicht für dieselbe Wirkung, d. i. für dieselbe Wassermenge am geringsten ausfalle, setze man die zur Bewegung des Kolben erforderliche Kraft $= p$, so ist, bey der vortheilhaftesten Einrichtung,

$$p = W . z = 1{,}39 . \frac{v . W b}{g t^2}$$

Heißt die in einer Sekunde ausgegossene mittlere Wassermenge Q, so ist $Q t = W b$, also

$$p = 1{,}39 . \frac{v . Q}{g t} .$$

Das Moment dieses Widerstandes wird demnach, wenn die mittlere Geschwindigkeit des steigenden Kolben $= c$ ist,

$$pc = 1{,}39 . \frac{v . Q . c}{g t} .$$

Nun

Nun ist aber $ct = b$, also $t = \frac{b}{c}$, und

$$pc = 1{,}39 \cdot Q \frac{v \cdot c^2}{gb} .$$

Das ganze Moment des zum Hube des Kolben erforderlichen Uebergewichtes wird daher, für dieselbe Wassermenge, desto kleiner, je länger der Hub, und je langsamer die Bewegung des Kolbens ist.

Zieht man hiebey noch den Umstand in Betrachtung, daß die absolute mit dem Kolben zu hebende Last, bey derselben Wassermenge, desto geringer wird, je kleiner die Fläche des Kolbens, folglich je länger der Hub ist, daß die Stärke, mithin auch das Gewicht, aller mit dem Kolben in Bewegung zu setzenden Maschinentheile in demselben Maaße mit der Länge des Hubes abnimmt, und daß also diese Grösse v selbst mit b in verkehrtem Verhältnisse steht, so läßt sich wohl nicht mehr an der Wahrheit des schon oben aufgestellten Grundsatzes zweifeln:

Daß die Einrichtung eines Saugwerks desto vortheilhafter ist, je länger die Kolbenhübe sind.

§. 114.

Aufgabe. Die Weite des Stiefels, und die Länge des Kolbenschubes ist gegeben. Man sucht die vortheilhafteste Weite der im Kolben anzubringenden Ventilöfnung, oder dasjenige Verhältniß dieser Oefnung zum Querschnitt des Stiefels, wobey der Widerstand beym Niedergehen des Kolben am kleinsten wird.

Auflösung. Das ganze Uebergewicht, welches erfordert wird, den Kolben in der Zeit τ die Länge b niederzuschieben, ist (nach §. 83.) dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe

$$y = \frac{K}{4g\tau^2}\left(b + 1{,}39 \cdot \frac{m}{K}\right)^2$$

gleich, wenn nämlich K den beständigen Koeffizienten des hydraulischen Widerstandes, und m die Höhe einer Wassersäule anzeigt, welche auf die Beschleunigung des

Kolben

Kolben eben so wie die verschiedenen, zugleich mit ihm bewegten, Massen wirken würde; (§. 89.) und man findet hier (wie §. 111. für z), daß y den möglich kleinsten Werth erhält, wenn

$$K = 1{,}39 \cdot \frac{m}{b}$$

ist. Nun haben wir (§. 70.) für Klappenventile

$$K = 2 + \frac{W^2}{\mu^2} - \frac{W}{\mu} - 2\frac{\mu}{W} - \frac{r}{W}$$

gefunden, wenn μ den von der geöfneten Klappe gebildeten Querschnitt, und r den Querschnitt der im Wasser gehenden Kolbenstange ausdrückt; wofür man, um die Rechnung abzukürzen, und da ohnehin auch die Steifigkeit des Leders in den Gelenken der Klappen einigen Widerstand verursacht,

$$K = 2 + \frac{W^2}{\mu^2} - \frac{W}{\mu} - \frac{r}{W}$$

nehmen kann. Ist nun die wahre Weite der ganzen im Kolben angebrachten Oefnung = u, so wird man, wegen dem begränzten Hube der Klappe, der Zusammenziehung, und dem schiefen Anprellen des durchziehenden Wassers, nur höchstens $\mu = 0{,}3 \cdot u$ setzen können. Dieß giebt

$$K = 2 + \frac{W^2}{0{,}09 \cdot u^2} - \frac{W}{0{,}3 \cdot u} - \frac{r}{W}.$$

Sezt man, zur Abkürzung, $\frac{W}{0{,}3 \cdot u} = a$, so wird

$$2 + a^2 - a - \frac{r}{W} = 1{,}39 \cdot \frac{m}{b}$$

$$a^2 - a = 1{,}39 \cdot \frac{m}{b} + \frac{r}{W} - 2$$

$$a^2 - a + \frac{1}{4} = 1{,}39 \cdot \frac{m}{b} + \frac{r}{W} - 1{,}75$$

$$\text{also} \quad a - \frac{1}{2} = \pm \sqrt{\left(1{,}39 \cdot \frac{m}{b} + \frac{r}{W} - 1{,}75\right)}.$$

oder

$$\text{oder } \frac{W}{0{,}3 \cdot u} = \frac{1}{2} \pm \sqrt{\left(1{,}39 \cdot \frac{m}{b} + \frac{r}{W} - 1{,}75\right)}.$$

und, weil hier das positive Zeichen vor der Wurzel gelten muß,

$$\frac{W}{u} = 0{,}3 \left[0{,}5 + \sqrt{\left(1{,}39 \cdot \frac{m}{b} + \frac{r}{W} - 1{,}75\right)}\right]$$

$$\text{oder } \frac{u}{W} = \frac{1}{0{,}15 + 0{,}3 \sqrt{\left(1{,}39 \cdot \frac{m}{b} + \frac{r}{W} - 1{,}75\right)}}$$

Es sey z. B. $b = \frac{1}{4}$

$m = 60$,

$\frac{r}{W} = \frac{1}{100}$,

so fände man das vortheilhafteste Verhältniß der Ventilöfnung im Kolben zur Weite des Stiefels

$$\frac{\mu}{W} = \frac{1}{0{,}15 + 0{,}3 \sqrt{19{,}11)}} = \frac{1}{1{,}6113} = 0{,}62,$$

und es müßte, wenn das Kolbenrohr 12 Zoll im Durchmesser hätte, und die Oefnung im Kolben eine ganze Kreisfläche wäre, der Durchmesser derselben = 9,4 Zoll seyn.

§. 115.

Da der Durchmesser des Kolbenstockes, wegen der um denselben anzubringenden Liederung, allemal etwas kleiner als der Durchmesser des Stiefels seyn muß, und derselbe auch am Rande, wo die Klappen aufliegen, sowohl als in der Mitte, wo die Stange befestigt wird, hinlängliche Stärke haben muß, so sieht man aus dem lezt angeführten Beyspiele, daß man, selbst bey ganz metallnen Kolben, in den meisten Fällen auf die im vorhergehenden §. bestimmte vortheilhafteste Weite der Kolbenöfnung Verzicht thun, und sich mit der größtthunlichen Weite dieser Oefnung, welche die Festigkeit und Sicherheit zu geben erlaubt, begnügen müsse. Man wird also nur höchstens $u = 0{,}4 \cdot W$ annehmen, und,

wenn man den eigentlichen zusammengezogenen Querschnitt des durchströmenden Wassers $= 0{,}3 . u$ sezt,

$$\mu = 0{,}3 \times 0{,}4 . W = 0{,}12 . W$$

sezen können. Dieß giebt $\frac{W}{\mu} = 8{,}333$; $\frac{W^2}{\mu^2} = 69{,}43889$,

$$\text{also } K = 2 + 69{,}438 - 8{,}333 - \frac{r}{W}$$

$$= 63{,}105 - \frac{r}{W},$$

wofür man, mit Vernachlässigung des in meisten Fällen unbedeutenden Bruches $\frac{r}{W}$, allgemein

$$K = 63$$

als den geringstmöglichen Widerstandskoeffizienten für den Niedergang des Kolben annehmen kann.

Dieser Werth in die Formel $y = \frac{K}{4gt^2}\left(b + 1{,}39 . \frac{m}{K}\right)^2$ gesezt, giebt

$$y = \frac{15{,}75}{g\,t^2}\left(b + \frac{m}{45}\right)^2.$$

Heißt die zum Niedergange des Kolben erforderliche Kraft q, so ist demnach

$$q = W . y = 15{,}75 . \frac{W}{gt^2}\left(b + \frac{m}{45}\right)^2,$$

und das Moment dieser Kraft

$$qc = W . y . c = 15{,}75 . \frac{Wc}{gt^2}\left(b + \frac{m}{45}\right)^2.$$

Weil nun $Wc = Q$, und $t = \frac{b}{c}$ ist, so wird

$$qc = 15{,}75 . \frac{Q . c^2}{g . b^2}\left(b + \frac{m}{45}\right)^2$$

$$= 15{,}75 . \frac{Q . c^2}{g}\left(1 + \frac{m}{45 . b}\right)^2$$

$= 0,$

$$= 0{,}0078 \cdot Q \cdot \frac{c^2}{g} \left(45 + \frac{m}{b}\right)^2$$

Es wird demnach auch zum Schube des Kolbens, wie für den Hub, bey einerley Wassermenge, ein desto kleineres Kraftmoment erfordert, je länger der Hub ist.

§. 116.

Bey einem doppelten Saugwerk, da die bewegende Kraft immer beyde Arten von Widerstand zugleich überwinden muß, wird daher das zur Bewegung erforderliche Kraftmoment, bey der möglich vortheilhaftesten Anordnung,

$$= pc + qc = 1{,}39 \cdot \frac{v \cdot c^2}{gb} Q + 0{,}0078 \cdot \frac{c^2}{g} Q \left(45 + \frac{m}{b}\right)^2$$

$$= Q \cdot \frac{c^2}{g} \left(1{,}39 \cdot \frac{v}{b} + 0{,}0078 \left(45 + \frac{m}{b}\right)^2\right)$$

Das Moment der eigentlichen oder hydrostatischen Last ist hierbey (da immer nur ein Kolben Wasser hebt, indeß der andere in seinem Stiefel für einen neuen Hub niedergeht)

$$Pc = WH \cdot c = Q \cdot H,$$

wo nämlich H die saigere Wasserhöhe vom Sumpf bis zum Ausguß einer Pumpe anzeigt; mithin das ganze zur Bewegung eines doppelten Saugwerks erforderliche Kraftmoment, bey der möglich vortheilhaftesten Anordnung,

$$\Pi = Pc + pc + qc$$

$$= Q\left[H + \frac{c^2}{g}\left(0{,}0078 \left(45 + \frac{m}{b}\right)^2 + 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}\right)\right].$$

oder, wenn die durch beyde Pumpen in jeder Minute auszugiessende Wassermenge M heißt,

$$\Pi = \frac{M}{60}\left[H + \frac{c^2}{g}\left(0{,}0078 \left(45 + \frac{m}{b}\right)^2 + 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}\right)\right]$$

M =

$$M = \frac{60 . \Pi}{H + \frac{c^2}{g}\left(0{,}0078\left(45 + \frac{m}{b}\right)^2 + 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}\right)}$$

und $$H = \frac{60 . \Pi}{M} - \frac{c^2}{g}\left(0{,}0078\left(45 + \frac{m}{b}\right)^2 + 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}\right).$$

§. 117.

Wenn mehrere Sätze paarweise so übereinander geordnet sind, daß ein Paar dem andern die Wasser zuhebt, so ist, wenn die saigere Höhe eines jeden Satzes H, und die Anzahl der übereinander gestellten Reihen Sätze N ist,

$$\Pi = \mathfrak{N} . \frac{M}{60}\left[H + \frac{c^2}{g}\left(0{,}0078\left(45 + \frac{m}{b}\right)^2 + 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}\right)\right].$$

Weil nun bey einer solchen Einrichtung jeder Satz dem Mittel nach wenigstens um einen Fuß tiefer anheben muß, als ihm der zunächst darunter befindliche Satz zugießt, so ist die ganze Höhe, zu welcher das Wasser durch die Kunst von der tiefsten Stelle bis zum Abfluß (z. B. vom Tiefsten in einer Grube bis an den Stollen) gehoben wird, jedesmal kleiner als die Summe der in den übereinander gestellten Sätzen gehobenen Wassersäulen.

Es sey diese ganze saigere Höhe, zu welcher eine Kunst die Wasser heben soll, $= \mathfrak{H}$, so ist

$$\mathfrak{H} = \mathfrak{N}\,(H - 1)$$

$$\text{also } H = \frac{\mathfrak{H}}{\mathfrak{N}} + 1.$$

Sezt man diesen Ausdruck statt H in die lezte Gleichung für Π, so ergiebt sich allgemein

$$\Pi = \frac{M}{60}\left[\mathfrak{H} + \mathfrak{N}\left(1 + \frac{c^2}{g}\left[0{,}0078\left(45 + \frac{m}{b}\right)^2 + 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}\right]\right)\right]$$

wobey

wobey jedoch die Reibung der Kolben, und der Wasserverlust (oder derjenige Theil der gehobenen Wassermenge, den die Sätze bey jedem Hube wieder fallen lassen), welche beyde von der mehr oder minder vollkommenen Struktur der Stiefel, Kolben und Ventile abhangen, noch besonders in Rechnung zu bringen ist.

§. 118.

In der lezten Gleichung sind alle Grössen, m und v allein ausgenommen, theils durch die Forderungen der Aufgabe selbst bestimmt und gegeben, theils willkührlich zu bestimmen. Wenn man sich daher derselben zur ersten vorläufigen Berechnung einer zu machenden Anlage bedienen will, so muß man für die beyden unbekannten Grössen v und m (die sich eigentlich erst nach einem vollständigen Entwurfe und ausgeführten Rissen genau bestimmen lassen) durch Schätzung angenäherte, nach den Umständen der Aufgabe eher zu grosse als zu kleine, Werthe annehmen, und hiernach die Rechnung so führen, daß bey einem in der Folge vorzunehmenden genauern Calkul die hiebey gemachten Fehler berichtigt werden können.

Wenn durch θ die Höhe einer Wassersäule ausgedrückt wird, deren Masse unmittelbar an einem Kolben angebracht auf die Beschleunigung desselben eben so, wie alle schweren festen Theile der Maschine, die zugleich mit selbem in Bewegung gesezt werden müssen, wirken würde; h die saigere Höhe des Stiefels vom Thürel bis zum Ausguß, und λ die ganze Länge des Saugrohrs anzeigt, so hat man, gemäß §. 89,

$$v = h + \lambda . \frac{W}{\omega} +$$

da h, λ, und $\frac{W}{\omega}$ wieder nach Willkühr zu bestimmen sind. Und weil beym Niedergehen des Kolbens kein Wasser gehoben, folglich nur die festen Theile der Maschine in Bewegung gesezt werden, so ist geradehin

$$m = \theta .$$

Um nun die Grösse θ beyläufig zu bestimmen, ziehe man vor allem die Bedingungen der Aufgabe in Betrachtung, ob nämlich die Pumpen unmittelbar am bewegenden Rade, oder in einiger Entfernung angebracht werden sollen, ob viel

oder

oder wenig Zwischengeschirr nöthig sey, u. d. gl. und setze alsdann einen der Entfernung des Rades von den Pumpen, und der Höhe H oder H sicher angemessenen Werth für θ fest. Nach einigen über wirklich vorgerichtete, mit hinlänglicher Stärke gebaute, Wasserkünste angestellten Berechnungen glaube ich mit ziemlicher Sicherheit für Maschinen von gewöhnlicher Grösse und Einrichtung allgemein

$$\theta = H\ (0{,}167 + 0{,}001\ .\ L)$$

festsetzen zu dürfen, wenn H die Höhe eines Kunstsatzes, und L die Entfernung des Rades vom Schachte, oder von den Pumpen in Fussen ausdrückt.

Dieß giebt demnach

$$v = h + \lambda\ .\ \frac{W}{\omega} + H\ (0{,}167 + 0{,}001\ .\ L)$$

$$\text{und } m = \theta = H\ (0{,}167 + 0{,}001\ .\ L)$$

Folgendes Beyspiel soll die Anwendung dieser Formeln vollständig erläutern.

§. 119.

Aufgabe. Es soll 12 löthige Soole 13 Lachter (Freybergermaaß) oder 91 Fuß hoch mittelst dreyer übereinander gestellten paar Saugpumpen durch 4 Pferde gehoben werden. Man sucht erstens: wie viel Soole von dieser Kraft auf benannte Höhe in jeder Minute gebracht werden kann? zweytens: die schicklichste Anordnung der Maschine.

Auflösung. I. Nach sehr genau angestellten Versuchen des berühmten Herrn James Watt in Birmingham kann ein Pferd von mittlerer Grösse im horizontalen Zuge einen beständigen Widerstand von 140 ℔ mit einer Geschwindigkeit von 4 Fuß überwinden, und dabey mehrere Stunden gut aushalten. Es ist also der Effekt eines Pferdes $= 140\ .\ 4 = 560$ in Pfunden, und, wenn der Kubickfuß Wasser β Pfunde wiegt, $= \frac{560}{\beta}$ in Kubickfussen Wasser ausgedrückt. Nimmt man z. B. englisches Maaß, so ist, weil der Kubickfuß reines Wasser $62\frac{1}{2}$ Pfund wiegt, der Effekt eines Pferdes $= \frac{560}{62{,}5} = 8{,}96$. Weil aber hier nicht reines Wasser, sondern Soole, (deren spezifische Schwere $= 1 +$

0,00728.

0,00728. 12 = 1,08736 ist, (§. 109.) und wovon also der englische Kubikfuß 67,96 Pfund wiegt) zu heben ist, so wird der Effekt eines Pferdes, auf das eigenthümliche Gewicht des hier zu hebenden Wassers reduzirt, $= \frac{560}{67,96} = 8,24$. Mithin, weil 4 Pferde zugleich angespannt werden sollen,

$$\Pi = 32,96.$$

II. Weil hier $\mathfrak{H} = 91$, und $\mathfrak{N} = 3$ ist, so hat man demnach die in einer Minute zu hebende Wassermenge

$$M = \frac{60 \cdot 32,96}{91 + 3\left[1 + \frac{c^2}{g}\left(0,0078\left(45 + \frac{m}{b}\right)^2 + 1,39 \cdot \frac{v}{b}\right)\right]}$$

und die erste Forderung der Aufgabe ist befriedigt, sobald die Grössen c, b, m und v bestimmt sind.

Man setze die mittlere Geschwindigkeit der steigenden und fallenden Kolben $c = 1$ Fuß, und die Länge der Hübe $= 3$ Fuß.

Da die saigere Höhe jeder Pumpe $H = \frac{\mathfrak{H}}{\mathfrak{N}} + 1$ seyn muß, (§. 117.) so ist hier $H = \frac{91}{3} + 1 = 31,33$ die Höhe eines einzelnen Satzes. Giebt man den Saugröhren eine Länge von 24 Fuß, so bleibt für die Höhe h vom Thürel bis zum Ausguß $31,33 - 24 = 7,33$ Fuß.

Es sey die Entfernung des Kunstschachtes von der Stelle, wo die Kurbelwelle gelegt werden kann, oder $L = 150$, so hat man nunmehr (nach dem vorhergehenden §.)

$$m = \theta = 31,33\ (0,167 + 0,001 \cdot 150)$$
$$= 9,93, \text{ wofür man } m = 10$$

nehmen kann. Hiernach wird

$$v = 7,33 + 24 \cdot \frac{W}{\omega} + 10 = 17 \cdot 33 + 24 \cdot \frac{W}{\omega}.$$

III. Wenn man nach der §. 111. gegebenen Formel das vortheilhafteste Verhältniß der Stiefelweite zur Weite des Saugrohrs berechnet, so findet man

$$\frac{W}{\omega}$$

$$\frac{W}{\omega} = 0{,}055 \cdot 8 + \sqrt{(0{,}1103 \cdot \frac{17{,}33}{3} + 0{,}003 \cdot 64 - 0{,}158)}$$

$$= 1{,}24, \text{ also}$$

$$v = 17{,}33 + 24 \cdot 1{,}24 = 47.$$

Sezt man nun, nach englischem Maaße, $g = 16$, so ergiebt sich

$$\frac{c^2}{g}\left[0{,}0078\left(45 + \frac{m}{b}\right)^2 + 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}\right] = \frac{1}{16}\left[0{,}0078\left(45 + \frac{10}{3}\right)^2 + 1{,}39 \cdot \frac{47}{3}\right]$$

$$= \frac{1}{16} \cdot 39{,}99 \cdot 85 = 2{,}499$$

wofür man kürzer 2, 5 nehmen kann.

IV. Aus den hier bestimmten Werthen von c, b, m, v und g ergiebt sich demnach

$$M = \frac{1977{,}6}{91 + 3\,(1 + 2{,}5)} = \frac{1977{,}6}{101{,}5}$$

$$= 19{,}48 \text{ Kubickfuß.}$$

wofür man aber, wegen der Reibung der Kolben in den Stiefeln, und den übrigen an den verschiedenen Theilen der Maschine vorfallenden Reibungen (die sich unmöglich voraus bestimmen lassen) mit Sicherheit nur

$$M = 18 \text{ Kub. Fuß}$$

annehmen darf.

V. Weil nun für jede Pumpe $n \cdot b = 30 \cdot c$ ist (§. 96.) wenn n die Anzahl der Kolbenhübe in einer Minute anzeigt, so ist hier

$$n = \frac{30 \cdot 1}{3} = 10.$$

Und da ferner $M = N \cdot b \cdot W \cdot n$ ist, (§. 103.) wenn durch N die Anzahl der in gleicher Höhe ausgiessenden Pumpen ausgedrückt wird, so ergiebt sich

$$W = \frac{18}{2 \cdot 3 \cdot 10} = 0{,}3 \text{ Quadratfuß}$$

$$= 43{,}2 \text{ Quadratzoll.}$$

Dieß

Dieß giebt den Durchmesser der Kolbenröhren

$$D = \sqrt{1{,}2738 \cdot 43{,}2} = \sqrt{55} = 7{,}4 \text{ Zoll},$$

und, weil (nach III) $\frac{W}{\omega} = 1{,}24$ ist, die Weite der Saugröhren

$$\omega = \frac{43{,}2}{1{,}24} = 34{,}8,$$

also den Durchmesser derselben

$$\delta = \sqrt{1{,}2738 \cdot 34{,}8} = \sqrt{44{,}42} = 6{,}6 \text{ Zoll}.$$

VI. Da nun alle Abmessungen der Pumpen bestimmt sind, so bleibt nichts mehr übrig, als die Anordnung der Maschine, durch welche die Kolben in Bewegung gesezt werden. Man bestimme also vors Erste den Durchmesser des Kreises, welchen die Pferde beschreiben sollen, oder die Länge des Schwengels, an welchem sie ziehen müssen. Es sey diese 24 Fuß, und die Geschwindigkeit der Pferde 4 Fuß, so ist der Kreis, in welchem sie laufen, 150,79, beynahe 151 Fuß, folglich die Zeit eines Umlaufs der stehenden Welle $= \frac{151}{4} = 37{,}75$ oder 38 Sekunden. Weil nun das Getriebe mit der Kurbelachse in der Minute zehnmal umlaufen, also in 6 Sekunden eine Umdrehung vollenden muß, so muß der Durchmesser des an der stehenden Welle befestigten Kammrades zum Durchmesser des Getriebes sich verhalten, wie $38 : 6 = 19 : 3$. Man könnte demnach lezterm einen Durchmesser von 4 Fuß, und ersterm einen Durchmesser von $25\frac{1}{3}$ Fuß geben. Die eiserne Kurbel an der Achse des Getriebes wird doppelt gebogen, so daß jeder Bug, oder die Entfernung des Mittelpunktes der Warzen von der Achse, 18 Zoll beträgt, und die Bewegung der Kolben geschieht mittelst zweyer über dem Schacht gehängten halben Kreutze, deren jedes durch ein besonders Gestänge mit der Kurbel in Verbindung gesezt wird. Weil indessen bey einer solchen Vertheilung der Last, wegen dem veränderlichen Momente der Krummzapfen, der Widerstand ziemlich ungleich werden muß, und daher die Pferde bald die ganze Last aller Sätze nebst der Reibung, bald wieder nur die lezte allein zu überwinden hätten, so würde ein an die Welle des Getriebes befestigtes 16 bis 20 Fuß hohes, am Umfange hinlänglich beschwertes, Schwungrad den Gang der Maschine gleichförmiger machen, und den Thieren eine beträchtliche Erleichterung verschaffen. Eben derselbe Zweck könnte aber auch, ohne Schwungrad, dadurch erreicht werden,

daß man über den Kunstschacht drey ganze Kreutze nebeneinander, und an jedem ein paar Sätze hienge, dann diese drey Kreutze mittelst eines dreyfachen Gestänges (welches zugleich ziehen und schieben müßte) durch eine dreyfache Kurbel in Bewegung sezte, da dann die ganze Last für einen Umlauf des Getriebes ins Sechsfache vertheilt, und zugleich jedes Kreutz und Gestänge nur mit dem dritten Theile der Last beschwert würde.

Anmerkung. Ich habe in dem leztangeführten Beyspiele den mechanischen Widerstand beym Aufzug und Niedergang der Kolben nach den im IXten Kapitel gefundenen Formeln, nämlich so berechnet, als ob die an der Kolbenstange wirkende Kraft zu den beständigen gehörte. Im Grunde sind nun freylich diese Formeln nur für diejenigen Pumpwerke anwendbar, deren Kolben durch Wassersäulen- oder Dampfmaschinen, oder auch unmittelbar ohne Zwischengeschirr durch Menschenhände bewegt werden, da die Kraft nur bey diesen Vorrichtungen beständig, beym Krummzapfen oder der Kurbel hingegen mit jedem Augenblicke veränderlich ist. So lang uns indessen noch eine vollständige sichere Theorie des Krummzapfens fehlt: (welche ohne Zweifel eine der schwersten Aufgaben der höhern Mechanik ist) so kann man jene Formeln auch bey der Bewegung durch Kurbeln, meiner Meinung nach, mit ziemlicher Sicherheit beybehalten, weil hier die Bewegung des Kolbens in der ersten Hälfte seines Hubes in demselben Maaße beschleunigt, als in der leztern Hälfte verzögert wird, folglich die träge Masse der bewegenden Kraft gegen das Ende des Hubes wieder um so viel mehr zu Hilfe kömmt, als solche am Anfange mehr Widerstand leistet. — Wer Gelegenheit hätte, den mechanischen Widerstand träger durch Kurbeln mit verschiedener Geschwindigkeit in reziproke Bewegung gesezter Massen durch Versuche im Grossen zu bestimmen, könnte sich um das Maschinenwesen sehr verdient machen. Die Vorrichtung hiezu müßte, wie bey einer Walg- oder Mangmaschine, so gemacht werden, daß eine beträchtliche Masse in horizontaler Richtung hin und her geschoben würde, da dann ausser der Reibung und dem Widerstande der Trägheit keine Last in Betrachtung käme.

Zwölftes Kapitel.

Theorie der vereinbarten Saug- und Hebwerke; Grundsätze zu ihrer vortheilhaftesten Anordnung; Vorzüge derselben vor den niedern Sätzen.

§. 119.

Wenn über dem Kolbenrohr einer Saugpumpe noch ein anders Rohr von gleicher oder verschiedener Weite gesezt, und das Wasser in demselben von dem steigenden Kolben aufwärts gedrückt oder gehoben wird, so hat man eine vereinbarte Saug- und Hebepumpe, oder, in der Sprache der Bergleute, einen hohen Kunstsatz. Durch eine solche Pumpe kann demnach (wenn die Aufsatzröhren verlängert werden) Wasser, wie durch ein Druckwerk, auf jede Höhe, die sich mit der Stärke dieser Röhren verträgt, gehoben werden, da hingegen die saigere Höhe eines gewöhnlichen niedrigen Satzes allemal auf 5 Lachter eingeschränkt ist.

§. 120.

Aufgabe. Alle Dimensionen einer vereinbarten Saug- und Hebpumpe sind gegeben, nebst der Geschwindigkeit des steigenden Kolbens; man sucht den Widerstand, welchen die über dem Kolben befindliche, und mit demselben zugleich gehobene, Wassersäule, im Stande der Beharrung, ausübt

Auflösung. Es sey die Weite des Kolbenrohrs ABCD (Fig. 40.) = W,

Die Weite der Aufsatzröhre bcde . . . . . = w,

Der Durchmesser derselben . . . . . = d,

Die Höhe derselben bc . . . . . = h,

Der Querschnitt der Kolbenstange . . . . . = r,

Die

Die Höhe m A vom Kolben bis zum Aufsatzrohr . . . . = x,
Die Geschwindigkeit des steigenden Kolben . . . . . = c,
Die Höhe einer Wassersäule auf der Grundfläche des Kolbens, deren Gewicht dem genannten Widerstand gleich wäre. . . . = X.

Man sieht, daß die Auflösung dieser Aufgabe schon in der §. 47. vorgetragenen enthalten ist: wenn man daher in der dort gefundenen Formel W statt A, w statt W, x statt h, und h statt 1 sezt, so ergiebt sich die auf den bewegten Kolben von oben wirkende Druckhöhe

$$X = x + h + \frac{c^2}{4g}\left(1 + \frac{W^2}{w^2}\left(1 + \frac{h}{53\,d}\right) - \frac{w}{W}\right).$$

Weil aber das Wasser beym Eintritt in die untere Mündung des Aufsatzrohrs c d eine Zusammenziehung (§. 48.) leidet, und noch überdieß der Querschnitt dieses Rohrs durch die Dicke der in demselben befindlichen Kolbenstange verengt wird, so muß statt w eigenlich $\frac{w - r}{\sqrt{\left(2 - \frac{w}{W}\right)}}$, also

$$X = x + h + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{W^2\left(2 - \frac{w}{W}\right)}{(w - r)^2}\left(1 + \frac{h}{53\,d}\right) - \frac{w - r}{W\sqrt{\left(2 - \frac{w}{W}\right)}}\right]$$

gesezt werden; oder, wenn man überhaupt den Koeffizienten der Zusammenziehung $\frac{1}{\sqrt{\left(2 - \frac{w}{W}\right)}} = \varepsilon$ sezt,

$$X = x + h + \frac{c^2}{4g}\left[1 + \frac{W^2}{\varepsilon^2 (w - r)^2}\left(1 + \frac{h}{53\,d}\right) - \frac{\varepsilon (w - r)}{W}\right].$$

Da nun die obere vom Wasser gedrückte Fläche des Kolbens = W − r ist, so hat man den gesuchten Widerstand

$$= (W - r)\,X,$$

und (wenn der Widerstandskoeffizient $1 + \frac{W^2}{\varepsilon^2 (w - r)^2}\left(1 + \frac{h}{53\,d}\right) - \frac{\varepsilon (w - r)}{W}$ Kürze halber B' genannt wird)

$$= \left(W - r\right)\left(x + h + B'.\frac{c^2}{4g}\right).$$

§. 121.

Heißt die Höhe des Kolbenrohrs β, die saigere Höhe des Saugrohrs 1, die ganze Länge desselben λ, dessen Weite ω, und Durchmesser δ, die Weite der Ventilöfnung zwischen Stiefel und Saugrohr φ, und die Weite der untersten oder Schlundöfnung a, so ist (nach §. 69.) der Widerstand, welchen das unter dem Kolben befindliche Wasser im Beharrungsstande verursacht,

$$= W\left(1 + \beta - x + B \cdot \frac{c^2}{4g}\right)$$

$$= W\left[1 + \beta - x + \frac{c^2}{4g}\left(1 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left[1 + \frac{\lambda}{53\delta} - \frac{\varphi + a}{\omega}\right]\right)\right]$$

Wenn demnach der gesammte Widerstand, welchen das über und unter dem Kolben befindliche Wasser der bewegenden Kraft im Beharrungsstande entgegen sezt, P heißt, so hat man

$$P = W\left(1 + \beta - x + B.\frac{c^2}{4g}\right) + \left(W - r\right)\left(h + x + \acute{B}.\frac{c^2}{4g}\right)$$

$$= W.\left[1 + \beta + h + \frac{c^2}{4g}\left(B + \acute{B}\right)\right] - r.\left(h + x + \acute{B}.\frac{c^2}{4g}\right)$$

Weil indessen in den meisten Fällen r gegen W ziemlich klein ist, und man ohnehin immer auf den größten Widerstand rechnen muß, so kann das lezte negative Glied dieser Gleichung um so sicherer ganz weggelassen werden, da bey einem doppelten Saug- und Hebewerk der Widerstand gegen den niedergehenden Kolben wegen dem Querschnitt der Kolbenstange gerade um so viel vermehrt wird, als solcher gegen den steigenden Kolben geringer ausfällt (§. 87.) Man hat daher, bey einer solchen Einrichtung, wenn die ganze saigere Höhe des Satzes $+ \beta +$ h, vom Sumpf bis zum Ausguß H heißt, allgemein

$$P = W\left[H + \frac{c^2}{4g}\left(B + \acute{B}\right)\right]$$

das

das ist:

$$P = WH + W.\frac{c^2}{4g}\left[2 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{\lambda}{53d} - \frac{a+\varphi}{\omega}\right) + \frac{W^2}{\varepsilon^2(w-r)^2}\left(1 + \frac{h}{53d}\right) - \frac{\varepsilon(w-r)}{W}\right]$$

§. 122.

Das bisher Vorgetragene bezieht sich blos auf den Beharrungsstand, wenn nämlich die Geschwindigkeit des steigenden Kolben ganz gleichförmig und unveränderlich geworden ist. Da indessen die mit dem Kolben zugleich in Bewegung gesezten festen und flüssigen Massen, nach den Gesetzen der Trägheit, nicht plötzlich vom Stand der Ruhe zu jener Geschwindigkeit übergehen, sondern sich solcher durch allmähliche Beschleunigung nur stuffenweise nähern können, ohne sie doch, im strengsten Sinne, je zu erreichen, (§. 72.) so wird ausser der hier berechneten Kraft noch ein gewisses Uebergewicht blos wegen der Trägheit der Massen erfordert, wenn der Kolben in einer bestimmten Zeit einen gegebenen Weg zurücklegen soll.

Sezt man diesen Weg, oder die Länge des Kolbenhubes = b, die Zeit, in welcher derselbe zurückgelegt wird, = t, die Höhe einer Wassersäule, welche unmittelbar auf dem Kolben denselben Einfluß auf die Beschleunigung desselben haben würde, welchen alle schweren Massen zusammen auf dieselbe äussern, = v, die Höhe einer Wassersäule, deren Gewicht dem vereinten hydraulischen und mechanischen Widerstande (§. 81.) gleich ist = z, so hat man, nach §. 77 — 84, wenn man nämlich in den dortigen Formeln nur $B + \acute{B}$ statt B sezt

$$z = \frac{v^2}{gt^2(B+\acute{B})}\left[\text{lognat}\left[E^{\frac{b}{2v}(B+\acute{B})} + \sqrt{\left(E^{\frac{b}{v}(B+\acute{B})} - 1\right)}\right]\right]^2$$

oder, wenn man sich der geschmeidigern Formel §. 80. bedienen will,

$$z = \frac{B+\acute{B}}{4gt^2}\left(b + 1{,}39 \cdot \frac{v}{B+\acute{B}}\right)^2.$$

Es

Es wird demnach die ganze zu einem Hube erforderliche Kraft

$$P = W\,(H + z + \rho)$$

$$= W\left[H + \frac{B + \acute{B}}{4gt^2}\left(b + 1{,}39 \cdot \frac{v}{B + \acute{B}}\right)^2 + \rho\right]$$

da ρ dieselbe Bedeutung hat, wie §. 90, und eben so zu bestimmen ist.

§. 123.

Wenn die ganze Länge des Aufsatzrohres h, die Länge des Saugrohrs λ, des Stiefels β ist, und θ die Höhe einer Wassersäule anzeigt, deren Gewicht unmittelbar an der Kolbenstange angebracht auf die Beschleunigung derselben eben so wirken würde, als die verschiedenen festen Massen oder Theile der Maschine, welche mit dem Kolben zugleich in Bewegung gesezt werden (§. 89.) so findet man hier

$$v = \theta + \beta + h \cdot \frac{W}{w - r} + \lambda \cdot \frac{W}{\omega}\ .$$

und man sieht, daß auch die Trägheit der im Aufsatzrohr befindlichen Wassermasse bey jedem Hube einen desto grössern Widerstand verursacht, je enger dasselbe gegen die Weite des Stiefels ist.

§. 124.

Weil die Bewegung des Kolben sich desto schneller dem Stande der Beharrung nähert, je grösser der hydraulische Widerstand ist (§. 110.), so findet auch bey einem hohen Satze ein gewisser vortheilhaftester Werth des Widerstandskoeffizienten $B + \acute{B}$ statt, bey welchem nämlich das zur Bewegung erforderliche Uebergewicht ein Kleinstes wird, und dieser ist, nach §. 111,

$$B + \acute{B} = 1{,}39 \cdot \frac{v}{b}$$

$$= 1{,}39 \cdot \frac{\left(\theta + \beta + h \cdot \frac{W}{w - r} + \lambda \cdot \frac{W}{\omega}\right)}{b}$$

Sezt

Sezt man, nach §. 107, allgemein

$$B = 2 + \frac{W^2}{\omega^2}\left(12{,}6 + \frac{\lambda}{53\,\delta}\right)$$

so muß für die vortheilhafteste Einrichtung einer vereinbarten Saug- und Hebpumpe,

$$2 + \frac{W^2}{\omega^2}\left(12{,}6 + \frac{\lambda}{53\,\delta}\right) + \frac{W^2}{s^2(w-r)^2}\left(1 + \frac{h}{53\,d}\right) - \frac{s(w-r)}{W}$$

$$= 1{,}39 \cdot \left(\frac{\theta + \beta + h \cdot \frac{W}{w-r} + \lambda \cdot \frac{W}{\omega}}{b}\right)$$

seyn.

§. 125.

Was den Niedergang des Kolbens bey einer vereinbarten Saug- und Hebpumpe betrift, so gelten hier alle jene Sätze und Formeln (§§. 70, 82, 83, 114 und 115.) welche wir für die niedern Sätze gefunden haben, da die grössere oder geringere Höhe der über dem Kolben befindlichen Wassersäule, bey dessen Niedergang, auf die Geschwindigkeit desselben und den Widerstand gar keinen Einfluß hat.

§. 126.

Eben so kann nach dem zehnten Kapitel die vollständige Berechnung eines doppelten Saug- und Hebewerks geführt, und alle dortigen Formeln mit der einzigen Veränderung angewendet werden, daß man statt B allenthalben B + B' oder $2 + \frac{W^2}{\varphi^2} + \frac{W^2}{a^2} + \frac{W^2}{\omega^2}\left(1 + \frac{\lambda}{53\,\delta} - \frac{\varphi + a}{\omega}\right) + \frac{W^2}{s^2(w-r)^2}\left(1 + \frac{h}{53\,d}\right) - \frac{s(w-r)}{W}$, oder, unter der Voraussetzung §. 107,

$$B + B' = 2 + \frac{W^2}{\omega^2}\left(12{,}6 + \frac{\lambda}{53\,\delta}\right) + \frac{W^2}{s^2(w-r)^2}\left(1 + \frac{h}{53\,d}\right) - \frac{s(w-r)}{W}$$

sezt, da dann für $w = W$; $s = 1$, folglich

$$B + B' = 2 + \frac{W^2}{\omega^2}\left(12{,}6 + \frac{\lambda}{53\,\delta}\right) + \frac{h}{53\,d}$$

wird, wenn man r gegen W als unbedeutend ansehen, und $W - r = W$ setzen kann.

§. 127.

§. 127.

Die ganze saigere Höhe eines hohen Kunstsatzes ist, wo sie noch üblich sind, von 8 bis zu 18 Lachter, wovon die Höhe des Saugrohrs gemeiniglich nur 3 bis 4 Lachter beträgt. Die Aufsatzröhren sind, so wie die Saugröhren, von Kiefern-Lerchen- oder Büchenholz mit vielen Reifen beschlagen, aber meistens von einem kleinern Durchmesser als das eiserne oder metallne Kolbenrohr, weil man nicht leicht Stämme von solcher Stärke findet, welche sich im Kern weiter als 8 bis 9 Zoll ausbohren lassen, und dabey noch eine hinreichende Wanddicke behalten, um den Druck einer 70 bis 80 Fuß hohen Wassersäule auszustehen. *)

§. 128.

Die hohen Sätze waren ehemals auf den niedersächsischen Bergwerken fast allgemein üblich, wie uns die Beschreibungen von Leupold und Calvör**) zeugen. Heut zu Tag aber scheinen sie aus Deutschland gänzlich verbannt zu seyn, und

---

*) Ueber die Vorzüge des Büchenholzes zu Aufsatzröhren von dem größten Durchmesser und Höhe ist ein von Herrn Rath Langsdorf in seinem fürtreflichen Lehrbuch der Hydraulik, eilften Kapitel, angeführter Versuch völlig entscheidend; ich setze seine eigenen Worte hieher: "Eine 14 Zoll weite büchene nur 2½ Fuß lange Röhre, welche an beyden Enden und zwischen solchen noch zweymal, also überhaupt mit 4 eisernen, 3 Zoll breiten, und beynahe ½ Zoll dicken Reifen beschlagen ist, und mit diesem Beschlag 3 Wochen in Wasser geworfen wird, um hinlänglich zu verquellen, hält den Druck einer 240 Fuß hohen Wassersäule hinlänglich aus, wenn ihre Wand nur nirgends unter 2½ Zoll dick ist. Man kann sich hierauf sicher verlassen, da ich diesen wichtigen Versuch mit vier verschiedenen dergleichen Röhren angestellt habe, wovon noch überdas die eine schon vor dem Beschlagen mit den Reifen an einer Seite von oben bis unten völlig von einander gerissen war. Dieser Riß wurde durch die eisernen Reife und das nachherige Verquellen so zusammengepreßt, daß bey dem starken Druck der 240 Fuß hohen Wassersäule auch durch diese Röhre kein Tropfen durchzudringen vermochte."— Herr Rath Langsdorf meldet hiebey nicht, ob diese Röhrenstücke von Rothbüchen oder von Weißbüchen Holze waren.

**) "Ein hoher freybergischer Satz besteht aus 4 hölzernen 6 elligen, und "8 Zoll weit gebohrten Aufsatzröhren, deren jede mit 16 eisernen

und haben ihre Stelle, so viel ich weiß, nur noch in den ungarschen Bergwerken erhalten. Ob nun gleich dieser Umstand ein ziemlich gegründetes Vorurtheil gegen die hohen Sätze überhaupt erwecken mag, so scheint mir doch die für das Bergwerkswesen äusserst wichtige Frage:

Sind hohe oder niedrige Sätze vortheilhafter?

durch die allgemeine Einführung der niedrigen an die Stelle der ehemals üblichen hohen Sätze noch keineswegs entschieden zu seyn, sondern hier eine nähere Untersuchung und Beleuchtung um so mehr zu verdienen, da wir aus der Erfahrung wissen, daß allgemein angenommene Meinungen nicht immer die richtigsten sind, und daß man auch in technischen Gegenständen schon öfters eine alte an sich gute Einrichtung in neuern Zeiten gegen eine schlechtere vertauscht hat. Um obige Frage etwas bestimmter zu fassen, setze ich den Fall: es sollte eine bestimmte Menge Grubenwasser, z. B. 8 Kubickfuß in der Minute auf eine saigere Höhe von 36 Lachter, mittelst eines Kunstrades gehoben werden, welches in jeder Minute 6 Umläufe macht. Nun fragt sich: sollte man zwey hohe Kunstsätze, jeden von 18 Lachter, so vorrichten, daß einer dem andern die Wasser zuhebt, und der Kolben in dem einen steigt, indeß er im andern fällt, wie Fig. 41 darstellt; oder sollten 8 gewöhnliche Sätze, jeder von $4\frac{3}{4}$ Lachter Höhe so übereinander gestellt werden, daß einer dem andern übers Kreutz zuhebt, und an jeder Schachtstange oder Trumm 4 Kolbenstangen angehängt sind, wie Fig. 42 anzeigt? —

Wenn jede Maschine überhaupt desto vollkommener und ihre Einrichtung desto vortheilhafter ist, je einfacher ihre Struktur, und aus je wenigern Theilen solche zusammen gesezt ist, so muß wohl schon die blosse Ansicht und Vergleichung der beyden

---

"Ringen beschlagen, welche an unsern Künsten sich nicht finden; "ferner aus einer 10 bis 12 Zoll weiten Gosse, welche sie eine Kol"benröhre nennen, von 3 Ellen oder 72 Zoll hoch, so 4 bis $4\frac{1}{2}$ Centner "im Gewichte hat" u. s. f. — Calvör's Acta Historico-chronologico-Mechanica etc. I Theil pag. 76. Auf der folgenden Seite fügt er hinzu: "Es werden aber "diese hohen Sätze, wie ich berichtet worden, wegen ihrer vielfälti"gen Beschwerlichkeit nach und nach abgeschaffet, und dagegen das "Kunstwerk mit niedrigen Sätzen, wie solche hier am Harze bräuch"lich sind, vorgerichtet." Dieß schrieb Calvör im Jahre 1763.

beyden Entwürfe Fig. 40 und 41. ganz auffallend für die hohen Sätze entscheiden. Hier sind nur zwey Kolbenröhren oder Stiefel, zwey Kolben, zwey Ventile, und die Kolbenstangen selbst sind unmittelbar an die Schachtstangen gehängt. Dort hat man 8 Stiefel, 8 Kolben, 8 Ventile, alle von vollkommen gleicher Grösse, und nebst den beyden Schachtstangen (welche wegen der viel grössern Belastung weit stärker und mit stärkern Schlössern versehen seyn müssen) noch 8 besondere Kolbenstangen, welche mittelst eben so vieler Krummeisen oder Stangenhacken an jenen durch Schrauben und Bänder befestigt sind. — Hier ist in der Mitte zwischen dem Sumpf und dem Stollen ein einziger Wasserkasten, und im ganzen Schachte nur zwey Liederbühnen; dort sind in demselben Raume sieben dergleichen Kasten von gleicher Grösse, und 8 Liederbühnen nöthig. Bey der lezten Einrichtung sind daher, ohne alle Widerrede, die Anlags- und Unterhaltungskosten an Gußware, Liederung und Zimmerarbeit viermal, und an Eisen und Schmiedearbeit wenigstens 8 mal grösser als bey der ersten; dabey ist die Maschine um so viel mehr belastet, hat um so viel mehr Reibung, und ist um so viel mehreren Zufällen und Stockungen ausgesezt. Denn wenn an einem einzigen Kolben oder Ventile etwas fehlt, so muß die ganze Maschine so lange stehen; bis das fehlerhafte Stück wieder ausgewechselt oder reparirt ist. — Ich schreite nunmehr zur genauen Berechnung des erforderlichen Kraftaufwandes für jede dieser Einrichtungen.

I. Für die niedern Sätze

Da hier $n = 6$, $b = 3$, $M = 8$ ist, so muß $W = \frac{M}{n.b} = \frac{8}{18} = \frac{4}{9}$ Quadratfuß $= 64$ Quadratzoll seyn; dieß giebt den Durchmesser der Kolbenröhre 9 Zoll.

Die ganze Höhe, zu welcher die Wasser gehoben werden müssen, ist $H = 36.7 = 252$ Fuß, folglich die Höhe eines jeden einzelnen Satzes $H = \frac{H}{8} + 1 = 31{,}5 + 1 = 32\frac{1}{2}'$. Der Durchmesser der Saugröhren sey 4", so ist $\omega = 12{,}56$, also $\frac{W}{\omega} = \frac{64}{12{,}56}$ und $\frac{W^2}{\omega^2} = \frac{4096}{157{,}75} = 25{,}9$ oder 26. Die ganze Länge der Saugröhren wird 27 Fuß betragen können, also $\lambda = 27$. Wenn man daher, nach §. 107, die Weite der untern Oefnung $a = 0{,}8 . \omega$, und den Querschnitt der Ventilöfnung $\varphi = 0{,}3 . \omega$ annimmt, so ergiebt sich für jeden einzelnen Satz der Koeffizient des hydraulischen Widerstandes, für den Kolbenhub,

B =

$$B = 2 + 26\left(12{,}57 + \frac{27}{53 \cdot \frac{1}{3}}\right) = 2 + 26 \cdot 14{,}1$$

$$= 368{,}6 \text{ oder } 369.$$

Die Liederung der Kolben sey auf gewöhnliche Art mit Scheiben vorgerichtet, und in jedem 6 Löcher von 2 Zoll Durchmesser für den Durchgang des Wassers angebracht; so kann man höchstens $\mu = 4$ Quadratzoll setzen, folglich den Widerstandskoeffizienten für den niedergehenden Kolben, oder den Kolbenschub (nach §. 70.)

$$K = 2 + \frac{W^2}{\mu^2} - \frac{r}{W}$$

$$= 2 + \frac{4096}{16} - \frac{r}{W}$$

$$= 2 + 256 - \frac{r}{W},$$

mit Vernachlässigung des kleinen Bruches $\frac{r}{W}$,

$$K = 258.$$

Weil nun in einer Minute jeder Kolben 6 mal spielt, so ist die Zeit eines Hubes oder Schubes $t = 4$ Sekunden (ich rechne eine Sekunde Stillstand zwischen dem Wechsel der Bewegung bey jedem Kolbenspiel).

Die Grössen v und m sind auf folgende Art zu bestimmen. Nach §. 89. hat man $v = \theta + h + \lambda \cdot \frac{W}{\omega}$, also hier

$$v = \theta + 5{,}5 + 27 \cdot \frac{64}{12{,}56} = \theta + 143.$$

Das Gewicht von 4 Kolben, eben so vielen Kolbenstangen, Krummeisen oder Stangenhacken, mit dem nöthigen Beschläge, und Schrauben, nebst den Schachtstangen kann man sicher auf 15 Kub. Fuß Wasser rechnen; dieß giebt θ auf die Kolbenfläche reduzirt, für jeden einzelnen Satz, $= 6{,}75$, folglich

$$v = 149{,}75 \text{ oder } 150.$$

Weil

Weil beym Niedergehen der Kolben die Wassermassen nicht in Bewegung gesezt werden, so hat man

$$m = \theta = 6{,}75 \text{ oder } 7.$$

Wenn man nun noch ferner, nach §. 90, hier

$$\rho = 3{,}75$$

sezt, so sind alle zur vollständigen Berechnung gehörigen Grössen bestimmt, und man erhält, wenn man sich der Formeln (§. §. 79 und 83.)

$$\eta = H + \rho + \frac{B}{4gt^2}\left(b + 1{,}39 \cdot \frac{v}{B}\right)^2$$

$$\text{und } y = \rho + \frac{K}{4gt^2}\left(b + 1{,}39 \cdot \frac{m}{K}\right)^2$$

bedient, hier für jeden einzelnen Satz

$$\eta = 32{,}5 + 3{,}75 + \frac{369}{64.16}\left(3 + 1{,}39 \cdot \frac{150}{369}\right)^2$$

$$= 32{,}5 + 3{,}75 + 4{,}55$$

$$= 40{,}8;$$

$$\text{und } y = 3{,}75 + \frac{258}{64.16}\left(3 + 1{,}39 \cdot \frac{7}{258}\right)^2$$

$$= 3{,}75 + 2{,}32 = 6{,}07.$$

Da nun beständig 4 Kolben zugleich gehoben, und eben so viele niedergedrückt werden müssen, so ist die ganze zur Bewegung beyder Schachtstangen erforderliche Kraft dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe

$$4(y + \eta) = 4(6{,}07 + 40{,}8) = 4.46{,}87$$

$$= 187{,}48 \text{ Fuß}$$

gleich; und, weil die halbe Höhe, zu welcher die Wasser vom Sumpfe bis zum Stollen gehoben werden, nur 126 Fuß beträgt, so ist bey dieser Einrichtung das zur Bewegung erforderliche Uebergewicht allein dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe $187{,}48 - 126 = 61{,}48$ Fuß gleich.

II. Für

II. Für die Einrichtung mit 2 hohen Sätzen.

Hier wird die Höhe eines Satzes $H = 126 + 1 = 127$ Fuß. Ich nehme die Saugröhren eben so weit, und so lang an, wie zuvor: so wird die Höhe der Aufsatzröhren $h = 95'$. Für eine solche Druckhöhe werden 8 Zoll weit gebohrte stückweise auf einander gesezte büchene Röhren, wenn die Wanddicke der untern allenthalben 3 Zoll, und der obern 2 Zoll beträgt, und alle mit eisernen Reifen gehörig beschlagen sind, mit aller erforderlichen Sicherheit zu gebrauchen seyn. (siehe Langsdorfs Lehrbuch der Hydr. S. 132) — dieß giebt $w = 50{,}24$ □ Zoll.

Die Kolbenstangen müssen 3 Zoll ins Gevierte stark seyn, also $r = 9$, und $W - r = 41{,}24$.

Der Zusammenziehungskoeffizient ε kann hier, ohne merklichen Fehler, $= 1$ gesezt werden, also $\frac{W^2}{\varepsilon^2 (w-r)^2} = \frac{4096}{1700} = 2{,}4$. Es wird demnach der Widerstandskoeffizient für die über dem Kolben befindliche Wassersäule (§. 119.)

$$\dot{B} = 1 + 2{,}4 \left(1 + \frac{95}{53 \cdot \frac{2}{3}} \right) - \frac{41{,}24}{64}$$

$$= 1 + 2{,}4 \cdot 3{,}68 - 0{,}644$$

$$= 9{,}188, \text{ oder } 9;$$

und, weil B wie vorhin $= 369$ ist,

$$B + \dot{B} = 378.$$

Nach §. 123 ist hier $v = \theta + \beta + h. \frac{W}{w-r} + \lambda. \frac{W}{\omega}$

$$= \theta + 5{,}5 + 95 \cdot \frac{64}{41{,}24} + 27 \cdot \frac{64}{12{,}5} = \theta + 166.$$

Da hier nur 2 Kolben, keine besondere Kolbenstangen, keine Stangenhacken u. d. gl. vorhanden sind, so wird θ höchstens nur 4 für jeden Satz seyn, folglich

$$v = 170.$$

Wenn man nun ρ zu 8′ annimmt (welches wohl hinlänglich seyn dürfte, da die Erfahrung zeigt, daß diese Art Reibung in einem kleinern Verhältnisse als die drücken-

drückenden Wassersäulen zunimmt), so sind alle Grössen bestimmt, und man hat für den steigenden Kolben

$$\eta = 127 + 8 + \frac{378}{1024}\left(3 + 1{,}39 \cdot \frac{170}{378}\right)^2$$

$$= 139{,}85.$$

für den niedergehenden Kolben, da wir dieselbe Liederung mit Scheiben voraussetzen,

$$y = 8 + 2{,}32 = 10{,}32.$$

mithin die ganze zur Bewegung der beyden Sätze erforderliche Kraft dem Gewichte einer Wassersäule gleich, deren Grundfläche W, und Höhe

$$\eta + y = 139{,}85 + 10{,}32 = 150{,}17 \text{ oder } 150.$$

Bey dieser Einrichtung wird demnach das zur Bewegung erforderliche Uebergewicht bey jedem Hube dem Gewichte einer Wassersäule gleich, deren Höhe 150 — 126 = 24 Fuß ist.

Aus diesen beyden Berechnungen ergiebt sich, daß die hohen Kunstsätze einen weit geringern Kraftaufwand erfordern, als die gewöhnlichen Saugwerke, wenn durch beyde dieselbe Wirkung herfürgebracht wird; da sich das zur Bewegung nöthige Uebergewicht in beyden Fällen, wie 24: 61 = 1: 2,5 verhält, und daß also, in mechanischer sowohl als in ökonomischer Rücksicht, die hohen Sätze den Vorzug verdienen.

§. 129.

Bey so auffallenden Vorzügen der hohen Kunstsätze, die selbst von allen Praktikern anerkannt werden müssen, scheint es in der That unbegreiflich, wie solche dennoch in neuern Zeiten auf allen deutschen Bergwerken abgeschaft, und durch die in jedem Betrachte minder vortheilhaften Saugwerke verdrängt werden konnten. Die Gründe, welche indessen für diese Veränderung angeführt werden können, sind folgende:

1) Da die Aufsatzröhren gemeiniglich einen kleinern Durchmesser als die Stiefel haben, und man also den Kolben nicht, wie bey den niedrigen Sätzen, oben heraus-

herausziehen kann, so muß, bey jedesmaligem Liedern, das Saugrohr aus dem Unter-Stöckel herausgenommen, der alte Kolben mit der Zugstange durch die untere Oefnung des Stöckels herausgestossen, ein frisch geliederter angeschraubt, und wieder durch dieselbe Oefnung in den Stiefel hinauf gezogen, sodann das Saugrohr mittelst seiner Frösche lspreitzen von neuem wieder in das Stöckel gestossen, und die Fugen Luft- und Wasserdicht gemacht werden. — Eine ziemlich weitläuftige und beschwerliche Arbeit, die besonders in Gruben, wo die Liederung wegen fressenden Wassern sehr oft erneuert werden muß, vielen Zeitverlust verursacht, da hingegen bey niedrigen Sätzen, weit schneller und leichter, der abgenüzte Kolben nur oben herausgezogen, und ein frisch geliederter an die Stange geschraubt wird.

2) Bey den niedrigen Sätzen kann man durch die im untern Stöckel angebrachte mit dem Pflocke verschlossene Oefnung, so oft man will, ohne Schwierigkeit zum Thürl gelangen, solches reinigen, wenn es durch Sand oder Unrath verstopft, oder gegen ein frisches verwechseln, wenn es unbrauchbar geworden ist.

Bey den hohen Sätzen läßt sich, wegen des stärkern Druckes, dieser Pflock (auf dieselbe Art) nicht anbringen, und man ist daher genöthigt, bey jeder am Thürl vorzunehmenden Reparatur das Saugrohr, auf dessen obern abgestumpftem Theile solches befestigt ist, wie beym Liedern des Kolben, unten herauszunehmen.

3) Die hölzernen Kolben stehen den vereinten Druck der Wasser- und Luftsäule bey den hohen Sätzen nicht aus, und die ledernen Scheiben drücken sich zu stark in die Löcher der Kolbenscheibe ein, wenn man denselben die gehörige Weite giebt. Auch leidet hiebey das Ventil oder Thürl ungleich mehr, und wird daher auch eher schadhaft.

4) Bey hohen Sätzen werden zu den Aufsätzen weitere Röhren von harten Holze erfordert, da man bey niedrigen enggebohrte Röhren von weichem Holze anwenden kann.

5) Bey flachen Kunstsätzen (dergleichen auf Ganggebürgen vorkommen) werden die Schachtstangen mit Schleppschienen versehen, welche, zur Verminderung der Reibung auf beweglichen Scheiben oder Rollen liegen, und die kurze Kolbenstange liegt nirgends auf. Bey hohen Sätzen würde in einer solchen Lage das Aufliegen und Reiben der längern Zugstangen in den Aufsatzröhren unvermeidlich

seyn,

seyn, und nicht nur beträchtlichen Widerstand, sondern sehr geschwinde Abnützung dieser Stangen und Röhren verursachen.

6) Die gewöhnlichen Sätze von 4 bis 5 Lachter saigerer Höhe gewähren den Vortheil, daß man diejenigen Wasser, welche auf höhern Strecken zulaufen, (statt solche in die Teufe fallen zu lassen) in der größtmöglichen Höhe auffangen, und mit dem vom Sumpfe gehobenen zugleich wegsaugen kann. Man leitet solche nämlich, wie bekannt, in den ersten gleich hoch, oder zunächst darunter stehenden Kasten, und giebt, von dieser Stelle an, allen darüber gestellten Sätzen um so weitere Kolbenröhren, je nachdem es die Menge der besondern Zuflüsse in den verschiedenen Höhen erfordert. Bey den hohen Sätzen kann dieser Vortheil nicht allemal so gut benützt werden, weil man die Wasser, welche etwas unter dem Ausgusse eines Satzes zufliessen, bis zu dem nächst darunter liegenden Sumpfe oder Wasserkasten fallen zu lassen, und solche folglich aus einer grössern Teufe anzuheben genöthigt ist.

§. 130.

Alle diese Einwürfe finden zwar gegen die hohen Kunstsätze, so wie sie bis jezt in Deutschland vorgerichtet worden sind, allerdings Statt. Daß solche aber bey einer zweckmässigern Anordnung gänzlich vermieden, und mit der bereits erwiesenen mechanischen Vollkommenheit der hohen Sätze alle die praktischen Vortheile und Bequemlichkeiten der gewöhnlichen Saugwerke vereinbart werden können, hievon sollen sich meine Leser in den folgenden Kapiteln überzeugen.

Dreyzehntes Kapitel.

Beschreibung der in England üblichen hohen Kunstsätze.

§. 131.

Man hat seit vielen Jahren bey den in England vorgerichteten Wasserkünsten alles Holzwerk gänzlich abgeschaft, und baut nun allgemein diese Maschinen ganz von gegossenem Eisen. Das hierauf verwandte Anlagskapital verzinnset sich durch die längere Dauer, die vollständigere Wirkung, und Ersparung der bey den ehemals auch dort üblichen hölzernen Sätzen beständig vorfallenden Reparaturen und Flickereyen auf eine so vortheilhafte Art, daß es dort Niemanden mehr einfallen würde, die Vorzüge dieser ganz aus Eisen verfertigten Pumpen, selbst in ökonomischer Rücksicht, zu bezweifeln. *)

Niedrige Sätze oder blosse Saugwerke sind dort nirgends zu finden; (es müßte denn die ganze Höhe, zu welcher Wasser gehoben werden sollte, nicht mehr als 28 bis 30 Fuß betragen) dagegen sind die vereinbarten Saug- und Hebepümpen allgemein eingeführt, und zwar so, daß sie mehr heben als ansaugen, d. i. daß die Auffatzröhren beträchtlich länger sind als die Saugröhren. Beyden giebt

*) Wie weit es die Engländer überhaupt im Gebrauch des Gußeisens als Baumaterial gebracht haben, davon zeugen ihre zahlreichen fürtreflichen Eisenhütten, in denen, die Sparren des Daches ausgenommen, beynahe gar nichts mehr von Holze anzutreffen ist. Wasserräder mit ihren Schaufeln, Aermen und Wellen, die auf selbe geleiteten Gefluder oder Gerinne, Hammer und Amboßstöcke, Gebläse und Windleitungen, alles ist daselbst von Eisen. Ganz eiserne Kammräder und Getriebe in den Mühlen sind längstens eingeführt, und grosse über schifbare Ströhme ganz von Gußeisen gebaute Brücken gehören in England schon nicht mehr unter die Seltenheiten.

giebt man eine solche Weite, daß der hydraulische Widerstand, welchen die bewegte Wassersäule dem steigenden Kolben entgegen sezt, auch bey einer beträchtlichen Geschwindigkeit des leztern, so gering als möglich wird; eine Vorsicht, welche bey dem gewöhnlich sehr lebhaften Spiele der englischen Pumpen besonders nöthig ist.

Die Saugröhren werden selten länger als 12 bis 14 Fuß, und von gleicher Weite mit den Kolbenröhren, oder höchstens nur um ein paar Zoll im Durchmesser enger gemacht. *) Den Aufsatzröhren hingegen giebt man ein paar Zoll im Durchmesser mehr als den Kolbenröhren; ihre Höhe ist von 60 zu 120 Fuß.

Die Ventile, sowohl auf dem Kolben als jene zwischen Stiefel und Saugröhren sind durchaus Klappenventile, und zwar mit doppelten Klappen, welche man, der Aehnlichkeit wegen, Butterflywings (Schmetterlingflügel) nennt.

Die Kolben sind von Eisen dünn gegossene abgestumpfte hohle Kegel, welche bey ihrem Niedergange dem Wasser den möglich größten Durchgang darbieten. Ihre Liederung besteht in einer von aussen mittelst eines darüber angetriebenen eisernen oder kupfernen Ringes befestigten Kappe von Leder, welche von der darüber stehenden Wasser- und Luftsäule oben auseinander und allenthalben genau an die Stiefelwand angedrückt wird.

Die

*) Vor zwanzig Jahren hatten auch noch in England einige alte Kunstmeister (Engineers) das Vorurtheil, daß der Widerstand bey engen Saugröhren kleiner sey als bey weiten. Der berühmte Eisenhüttenmeister Herr John Wilkinson (welcher überhaupt auf Versuche zur Verbesserung des Eisenhütten- und Maschinenwesens mehr verwendet, und sich daher auch mehr um diese Fächer verdient gemacht hat, als alle Fürsten und alle Akademien von Europa) entschied einen über diesen Gegenstand in seiner Gegenwart entstandenen Streit und eine darauf gesezte Wette durch folgenden Versuch: er ließ zwo Saugpumpen von gleicher Höhe verfertigen, deren Kolbenröhren 8 Zoll im Durchmesser weit waren; unter die eine ward ein Saugrohr von 3 Zoll im Durchmesser, unter die andere ein Saugrohr von gleicher Länge, aber 12 Zoll im Durchmesser gesezt, und siehe da! die Pumpe mit dem weiten Saugrohr gieng um vieles leichter als die andere, und der Streit war für immer beygelegt.

Die Ventilstöcke sind vollkommen so wie die Kolben gestaltet, nur mit dem Unterschiede, daß ihre äussere kegelförmige Fläche, statt mit einer ledernen Kappe umgeben zu seyn, abgedreht, und in den Untertheil des Stiefels, welcher eben so konisch ausgebohrt ist, genau eingepasset wird, in welchem Sitze das Ventil durch sein eigenes Gewicht und durch den Druck des Wassers von oben vollkommen Luft- und Wasserdicht erhalten, und woraus solches zu jeder Zeit mit der größten Leichtigkeit genommen werden kann.

Die Liederung d. h. die Auswechselung der Kolben und Ventile verursacht bey dieser Einrichtung, der beträchtlichen Höhe der Aufsatzröhren ungeachtet, sehr wenig Zeitverlust, und es geht damit so schnell und bequem, als bey einem gewöhnlichen deutschen niedrigen Satze nur immer möglich ist.

Die Länge der Kolbenzüge ist von 5 bis 10 Fuß, und die Anzahl derselben in einer Minute 10 bis 20.

Ich schreite nunmehr zur nähern Beschreibung eines der grössern englischen Kunstsätze.

§. 132.

Auf der vierten Tafel stellt die erste Figur einen vollständigen englischen Kunstsatz im vertikalen Durchschnitte, Fig. 2 und 3 im Aufriß vor. Hiebey ist efgh das Saugrohr (the Windbore oder Succingpipe) 12 bis 13 Fuß lang aus einem Stücke gegossen (zuweilen auch aus mehreren Stücken mit Lappen und Schrauben zusammengesezt). Der untere Theil desselben, der Schlund, welcher bis an die punktirte Linie unter Wasser zu stehen kömmt, ist anderhalb bis zweymal weiter im Durchmesser als das Rohr, und mit vielen Löchern von $\frac{1}{2}$ bis 1 Zoll Weite versehen, durch welche das Wasser frey genug eingezogen, der gröbere Unrath und Sand hingegen abgehalten wird. *) Unmittelbar über diesem erweiter-

*) Es versteht sich, daß die Summe aller dieser Löcher wenigstens keine kleinere Oberfläche, als der Querschnitt des Saugrohrs, bilden muß, da man hierbey auf die Zusammenziehung der eindringenden Wasserfäden, und zufällige Verstopfung eines Theils dieser Oefnungen Rücksicht zu nehmen hat.

weiterten Theile ist noch ein kurzes Rohr n seitwärts angegossen, welches mit einem wohl passenden hölzernen Stöpser oder Pflocke verschlossen, und nur im Nothfalle geöfnet wird, wenn die Wasser höher aufgehen, und die kleinen Oefnungen im Schlunde durch Sand oder Schlamm größtentheils verstopft sind. Zur Unterlage für das Saugrohr und, zum Theil, für die ganze Pumpe, dient eine 3 bis 4 Fuß im Quadrat breite, ein paar Zoll dicke Platte von Gußeisen p p, welche in ihrer Mitte einen aufrecht stehenden Zapfen hat, der in das unterste Loch des Schlundes f g gesteckt das Rohr und die ganze Pumpe in senkrechter Lage erhält. — Der obere Theil der Saugröhre e h erweitert sich kegelförmig zu einerley Durchmesser mit dem nächstfolgenden kurzen Zylinder, und ist an denselben mittelst eines zirkelförmigen Randes oder Lappen durch Schrauben befestigt.*)

§. 133.

Dieser kurze Zylinder b e h c (the Clackdoor piece, das Ventilstück) macht eigentlich das Mittel zwischen dem Saugrohr und dem Kolbenrohr, und dienet zum Sitze für das konisch abgedrehte Ventil, wie die Zeichnung weiset. Damit man aber dieses Ventil zu jeder Zeit bequem heraus nehmen könne, ist an diesem Stücke seitwärts ein viereckter Kasten (ohngefähr wie der Schlund an den eisernen sogenannten Kanonöfen) angegossen, welcher mit einem vorstehenden Rande versehen,

*) Beym Abteufen eines Schachtes (Sinking) bedient man sich für die unterste, unmittelbar aus dem Sumpf anhebende Pumpe folgender Vorrichtung: das Saugrohr besteht aus zweyen Stücken a b c d und m n o p (IIIte Tafel Fig. 44.) ersteres ist an dem Kolbenrohr oder Ventilstücke auf die gewöhnliche Art mit Schrauben befestigt; das zweyte, der Schleicher, wird in das erste so hinein gesteckt, daß zuerst blos sein kolbiger durchlöcherter Theil herfürragt, nach und nach aber, als der Sumpf tiefer wird, immer weiter das ganze Rohr bis m p herab gelassen wird. Die Unterlage für diesen Schleicher ist eine eiserne Platte f g h, welche unmittelbar auf dem Sumpfe liegt, und auf deren erhobenen Spitze das Stück n o festsizt. Diese Platte heißt, ihrer Gestalt wegen, the Bishops cap, die Bischofsmütze; man sieht, daß durch diese Vorrichtung das Wasser von allen Seiten ungehindert in das Saugrohr eintretten kann, und der unterste Theil des Schlundes über dem Schlamme gehörig erhoben bleibt. Daß die Fuge bey b c in jeder Stellung mit Stopfleinwand verdichtet, und mit Lehmen gehörig überstrichen werden muß, versteht sich von selbst.

versehen, und durch eine auf diesen Rand genau passende 2 Zoll dicke gegossene Platte mit dazwischen gelegter Stopfleinwand und Kütte mittelst 6 oder 8 Schraubenbolzen genau verschlossen wird. Man sieht, daß diese Ventilthüre und Platte hier die Stelle des Pflockes am Unterstöckel bey den gewöhnlichen deutschen Saugwerken vertritt, und daß man, wenn die Platte losgeschraubt und mittelst der Stange t t abgehoben wird, das ganze Ventil durch die weite viereckte Oefnung herauslangen, die nöthige Ausbesserung an selbem vornehmen, oder sogleich ein frisch geledertes an seine Stelle hinein bringen kann. Der Sitz des Ventils ist auf solche Art nicht nur vollkommen Luft- und Wasserdicht, sondern auch ganz sicher: denn da der untere Rand desselben y y Fig. 13. ganz schneidig ist, so wirkt das von unten eindringende Wasser eigentlich nur gegen den schmalen Steg n n Fig. 10; und da sich die beyden Klappenflügel, welche beträchtlich leichter als der ganze Ventilstock sind, ohne Widerstand öfnen, so ist das Gewicht des leztern allein hinreichend dem Wasserstosse gegen den Steg zu widerstehen, und daher auch bey dem lebhaftesten Kolbenspiele nicht zu befürchten, daß das Ventil von dem durch die Saugröhre eindringenden Wasser aus seinem Sitze heraus gehoben würde.

§. 134.

Unmittelbar auf diesem kurzen Zylinder oder Ventilstücke ist, mittelst Lappen (Flanches) und Schrauben das Kolbenrohr a b c d (the workingbarrel) befestigt, ein inwendig genau ausgebohrter und polirter eiserner Zylinder, dessen Weite nach der Menge der zu hebenden Grubenwasser 6, 8, 10, 12, 16 bis 30 Zoll im Durchmesser, und dessen Länge gemeiniglich 9 bis 12 Fuß beträgt. In diesem Zylinder spielt der eiserne mit einer ledernen Kappe über den Sturz geliederte Kolben (the bucket) mit einem Hube von 8, 9 bis 11 Fuß.*) Uebrigens hat dieses,

*) Diese langen Kolbenröhren und Hübe sind indessen nur bey solchen Kunstsätzen üblich, welche mittelst der Dampfmaschine in Bewegung gesezt werden. Auch ist ein sehr langer Hub bey diesen Maschinen, wo die bewegende Kraft vom Anfange des Hubes bis ans Ende desselben beynahe beständig ist, so wie bey den Wassersäulenmaschinen, besonders vortheilhaft, wie aus dem XI. Kapitel bewiesen ist. Bey den Wasserkünsten mit dem Krummzapfen, da die bewegende Kraft mit jedem Augenblicke sich verändert, ist der Kolbenhub gemeiniglich nur 5 Fuß, und das Kolbenrohr 6 Fuß lang.

dieses, wie alle andere Stücke oben und unten zirkelförmige Ränder oder Lappen (Flanches) und ist oben bey ad ein wenig erweitert, damit der Kolben desto leichter von dieser Seite hinein gestossen werden könne.

Da das Kolbenrohr das vorzüglichste Stück bey einer jeden Pumpe ist, so wird auf die genaue Anfertigung desselben die möglichste Sorgfalt verwendet, und man hat, um solche nach dem Guß vollkommen zylindrisch auszubohren, eigene sehr sinnreiche Bohrmaschinen, deren Einrichtung von den Stückbohrmaschinen ganz verschieden ist, und die ich bey einer andern Gelegenheit bekannt machen werde.

§. 135.

Gerade über das Kolbenrohr kömmt ein anderer kurzer Zylinder (the Bucket door piece) kedl, welcher dem untern Zylinder behc vollkommen ähnlich, aber im Durchmesser einige Zolle weiter als das Kolbenrohr ist, und durch dessen Thüre der Kolben sehr bequem heraus geholt werden kann, sobald die Platte weggenommen ist, wie die dritte Figur von vorne darstellt. Dieser Zylinder macht nun wieder das Mittelstück zwischen dem Stiefel und den Aufsatzröhren iklm (the pumptrees) welches gerade übereinander mit Lappen und Schrauben befestigte 9 bis 12 Fuß lange, durchaus um einen oder ein paar Zoll im Durchmesser weiter als der Stiefel gegossene Röhren sind, welche zusammen eine Säule von 60 bis 120 Fuß Höhe bilden, und in denen die hölzernen Kolbenstangen frey spielen.

§. 136.

Aus dieser kurzen, doch vollständigen Beschreibung erhellet: 1°, daß die ganze saigere Höhe, zu welcher die Wasser durch einen Satz (at one lift) in England gehoben werden, 84 bis 150 Fuß beträgt; 2°, daß der Kolben in seinem höchsten Stande nie mehr als 21 bis 24 Fuß über dem untern Wasserspiegel erhöht ist, und daß also die Maschine in einem weit grössern Maaße Hebewerk als Saugwerk ist. Nun ist es zwar, in Rücksicht auf den hydrostatischen Widerstand, und den Druck, welchen der Kolben zu leiden hat, vollkommen gleichgiltig, in welcher Höhe derselbe spielt, da dieser Druck immer der Summe aus den beyden Wassersäulen über und unter dem Kolben entspricht. Allein für den Gang der Maschine

bringt

bringt diese englische Einrichtung zwey wesentliche Vortheile. Fürs Erste steigt das Wasser, beym jedesmaligen Anlaß, schneller in dem Saugrohr, und die Pumpe kömmt nach wenigern Kolbenzügen zum Ausgiessen; auch ist, in dieser Hinsicht, der unvermeidliche Raum bey einem kurzen Saugrohr minder schädlich, als bey einem längern. Zweytens kann das Wasser den steigenden Kolben, bey einem so niedrigen Stande, selbst bey der schnellsten Bewegung, nicht nur einholen, sondern es wirkt noch mit einem beträchtlichen Drucke gegen seine untere Fläche aufwärts, indem die Geschwindigkeit, welche der Druck der Atmosphäre der steigenden Wassersäule in dieser Höhe zu geben vermag, noch immer einen beträchtlichen Ueberschuß über jene des Kolbens behält, wie solches der Forderung §. 68. gemäß ist.

§. 137.

Die Verbindung des Kolbens mit der Kolbenstange, so wie die ganze Zusammensetzung desselben, ist nach einem grössern Maaßstabe, Fig. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 und 12 dargestellt. Der Körper des Kolben selbst, der Kolbenstock, ist ein von Eisen gegossener abgestumpfter hohler Kegel uwwu (Fig. 6. im lothrechten Durchschnitt, und Fig. 10. im Grundriß) dessen unterer Rand ww ganz scharf, der obere hingegen uu $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll breit ist. Durch die Mitte des zylindrisch ausgehöhlten Kolbens geht der schmale Steg nn, welcher in der Mitte eine die ganze Höhe durchsetzende länglichte Oefnung hat, worein das Ende der Kolbenstange b, Fig. 4, 5, gesteckt wird. Der obere (grössere) Durchmesser des Kolbenstockes muß um einen Zoll kleiner als der innere Durchmesser der Kolbenröhre seyn. Wenn dieser Kolbenstock fertig, und sein oberer Rand ww so glatt als möglich gemacht worden ist, so wird eine Scheibe ff Fig. 12, von starkem Pfundleder (welches vorher in einer heißen Mischung von Talg, Oehl und Theer getränkt worden) so geschnitten, daß ihr Durchmesser $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll kleiner als der Durchmesser des Kolbens uu ist, und in die Mitte derselben eine länglichte Oefnung von gleicher Grösse mit der im Stege befindlichen Oefnung ausgeschnitten. Nun werden von dem stärksten Eisenblech zwey Segmente pp (Fig. 12.) einer Scheibe von gleich grossem oder nur wenig kleinerm Durchmesser als das Leder, und eben so viele von einem Durchmesser, welcher um einen Zoll kleiner als die innere zylindrische Weite des Kolbenstocks ist, verfertigt, und von beyden Seiten gegen einander an die lederne Scheibe mittelst kurzer Schraubenbolzen dergestalt befestigt, daß,

wenn die so armirte Scheibe auf den Kolbenstock gelegt wird, die obern Bleche rings herum am Rande aufliegen, die untern hingegen nirgends anstossen, wie die 7te und 11te Figur anzeigt.

§. 138.

Die Kolbenstange ist Fig. 5. nach der breiten, Fig. 4. nach der schmalen Seite gezeichnet, und hat die Gestalt eines Kreutzes ammb. Das unterste flache Stück b wird durch die Oefnung in der ledernen Scheibe und dem Stege des Kolbens nn Fig. 6. (worein es genau passet) gesteckt, und das Ende mit einem eisernen Keile k so fest als möglich angetrieben, wodurch die lederne Scheibe über dem Steg mittelst des Querstücks mm befestigt, und in zween abgesonderte bewegliche Klappenflügel uu Fig. 7 — 8, getheilt wird.

§. 139.

Die Liederung besteht in einer kegelförmig zusammengelegten Kappe lggl Fig. 9. von starkem Rindleder (welches vorher in einer heissen Mischung von Talg, Oehl und Fischschmalz recht voll getränkt worden), welche von unten über den Kolbenstock geschoben, und mittelst eines darüber getriebenen eisernen oder kupfernen Reifens rr Fig. 8. befestigt wird. Dieser Reifen, welcher Fig. 15. besonders gezeichnet ist, wird an seiner obern Kante beynahe scharf, an seiner untern hingegen $\frac{1}{4}$ Zoll stark gemacht, damit man mit dem Hammer darauf arbeiten kann. Die 7te Figur zeigt diese Gestalt des Reifens im vertikalen Durchschnitt.

§. 140.

Das Leder, welches um den Kolben herum gelegt wird, braucht eben nicht zusammen genäht zu werden; es ist vielmehr besser, die Enden blos dichte zusammen zu legen, und so den Ring darüber zu treiben. Am besten verfährt man, wenn man die beyden Ränder ohngefähr einen Zoll breit übereinander legt, solche aber mit einem scharfen Messer der ganzen Länge nach keilförmig so zuschneidet, daß die übereinander gelegten, genau aufeinander passenden, Stücke keinen Wulst bilden, sondern durchaus einerley Dicke mit dem übrigen Leder behalten. Auf diese Art schließt sich der obere von der Wassersäule auseinander gedrückte Theil der ledernen Kappe von selbst in jeder Lage allenthalben genau an die Stiefelwand an, und der Kolben geht ohne Zwang in dem Stiefel auf und nieder, wenn auch dieser an der einen oder

andern Stelle ungleich und nicht vollkommen zylindrisch ausgebohrt seyn sollte. Uebrigens ist es gar nicht nothwendig, daß diese lederne Kappe sehr streng in den Stiefel gehe, oder von diesem stark zusammengedrückt werde, da vielmehr hiedurch nur die Reibung und Abnützung unnöthiger Weise vergrössert, und doch der eigentliche Endzweck, vollkommne Dichte, nicht erreicht wird. Je weniger gespannt und steif die lederne Kappe ist, desto genauer legt sie sich allenthalben an die Stiefelwand an, desto dichter arbeitet der Kolben, und umgekehrt. Für sich würde schwaches Handschuhleder zu diesem Zwecke vollkommen hinreichend seyn, wenn der Kolben immer genau in der Mitte in der Richtung der Achse des Stiefels bewegt würde. Da aber dieses, auch bey der besten Maschine schwerlich zu erhalten ist, so wäre zu befürchten, daß, sobald der Kolben etwas gegen die eine Seite gedrückt würde, der lederne Sack an der entgegen gesezten Seite, wo er zu stark gespannt wäre, von dem Drucke des Wassers börste. Man nimmt daher Rindleder, welches vorher, wie bereits erwähnt worden, in einer heissen Mischung von Oel, Unschlitt und Fischschmalz voll getränkt wird. Die Reibung, welche ein auf diese Art gut und nicht zu scharf geliederter Kolben bey seiner Bewegung in einem genau ausgebohrten Zylinder verursacht, kann auch bey einer sehr hohen Wassersäule in der That so beträchtlich nicht seyn, als man sich gemeiniglich vorstellt, indem solche eigentlich nur dem Uebergewichte des von innen auswärts gegen die Stiefelwand pressenden Wasserdruckes über denjenigen Druck entspricht, womit das Wasser zwischen dem Leder und dem Stiefel einzudringen strebt; und aus diesem Grunde erklärt sichs auch, warum diese Reibung, bey gleichem Kolben-Durchmesser, in einem weit geringern Verhältnisse zunimmt, als die drückenden Wasserhöhen. (§. 90.)

§. 141.

Die kurze Kolbenstange ab Figur 8. wird mit der Zugstange dc Fig. 4 — 5. mittelst einer genau eingreifenden doppelten Verkammung durch zwo eiserne Schliessen s s so verbunden, daß die eine mit der andern eine unbeugsame feste Stange bildet, und der Kolben beym Niedergehen sich weder nach der einen noch nach der andern Seite umlegen kann. Die Art dieser Verbindung wird durch die Ansicht der 4ten Figur, ohne weitere Beschreibung, vollkommen deutlich. Soll nun der Kolben durch die Kolbenthüre herausgenommen werden, so wird derselbe zuerst an seine höchste Stelle in den Obertheil des Stiefels gebracht, und die Kunst

in

in dieser Stellung gehemmt. Hierauf werden die kleinen gespaltenen Keile ss (Fig. 5.) mit einer Zange herausgeholt, die Schliessen ss (Fig. 4.) ausgezogen, und der nun ganz von der Zugstange losgemachte Kolben mit seiner kurzen Stange ab ausgehoben. Durch dieselbe Thüre wird dann sogleich ein frisch gelederter Kolben von vollkommen gleicher Grösse (dergleichen bey einer solchen Wasserkunst beständig mehrere vorräthig zur Hand seyn müssen) in den Stiefel gebracht, und mittelst derselben Schliessen und Keile an die Zugstange befestigt, welche demnach beym Liedern immer in den Aufsatzröhren bleibt, und nur dann, wenn sie selbst einer Reparatur bedarf, oben herausgezogen wird.

§. 142.

Das Ventil zwischen dem Kolbenrohr und der Saugröhre unterscheidet sich von dem Kolben nur dadurch, daß es eine kürzere oben mit einem Hacken oder Griffe versehene Stange emmf (Fig. 14.) hat, und an seiner äussern Fläche konisch abgedreht ist. Fig. 13. stellt den Ventilstock mit den beyden Flügelklappen uu, der Stange ef, und dem Schlußkeile k im vertikalen Durchschnitte vor.

§. 143.

Bey einigen Wasserkünsten, welche durch Dampfmaschinen bewegt werden, bedient man sich in England auch zylindrischer von Metall gegossener Kolben ohne Leder, welche an ihrer äussern Fläche so abgedreht werden, daß sie genau und ohne Zwang in den Stiefel gehen und allenthalben gut anpassen. Wenn ein solcher Kolben mit einer Geschwindigkeit von 2 bis 3 Fuß in der Sekunde aufgezogen wird (welches bey vielen Dampfmaschinen der gewöhnliche Gang ist), so kann die Wassermenge, welche während der kurzen Zeit des Hubes zwischen demselben und der Stiefelwand verloren geht, nur einen sehr unbedeutenden Theil des ganzen Hubwassers ausmachen, besonders, wenn der Kolben einen grossen Durchmesser hat, und die Höhe des Satzes nicht sehr beträchtlich ist.*) Auch die Klappen

*) Bey den gewöhnlichen Pumpbrunnen, wo der Stiefel unter Wasser steht, und der Kolben von unten aufwärts drückt, wie Fig. 31. Tab. II, werden hier in München und in Augsburg seit langer Zeit zylindrische metallne in den Stiefel eingeriebene Kolben ohne Leder mit dem besten Erfolge gebraucht.

pen werden bey diesen Pumpen sowohl auf den Kolben als auf den Ventilstöcken, von Metall mit ordentlichen Scharnieren gemacht, und mit den aufliegenden Stellen eingeschmiergelt oder eingerieben. Diese Art Kolben und Ventile ohne Leder sind, besonders bey fressenden Wassern, (wo die Liederung sehr oft erneuert werden muß, und daher beträchtliche Kosten und Zeitverlust verursacht) sehr vortheilhaft, weil sie Jahre lang ohne alle Reparatur ihren Dienst leisten. Dafür fordern sie aber auch grossen Fleiß und Genauigkeit, vorzüglich ein sehr genau ausgebohrtes Kolbenrohr, und reines Wasser: denn der geringste Unrath, Sand oder Schlamm, der sich an die Klappen oder zwischen den Kolben und Stiefel sezt, macht solche unbrauchbar.

§. 144.

Wo das Wasser nicht höher als 40 bis 60 Fuß zu heben ist, bedient man sich in England, besonders über Tage, der auf der fünften Tafel Fig. I. im vertikalen Durchschnitte dargestellten Saug- und Hebepumpe, bey welcher das Saugrohr unmittelbar mit dem Stiefel, und dieser unmittelbar mit den Aufsatzröhren, ohne dazwischen gesezte Ventil- oder Kolbenthürstücke, in Verbindung steht. Der Kolben k wird bey dieser Pumpe samt der Kolbenstange durch die Aufsatzröhren (welche etwas weiter als der Stiefel sind) oben heraus gezogen, und eben so wieder hineingebracht. Das konisch abgedrehte Ventil v sizt in dem obern erweiterten eben so kegelförmig ausgebohrten Theile no der Saugröhre luft- und wasserdicht, und kann, wenn der Kolben heraus ist, mittelst einer langen, unten mit einem Hacken versehenen Stange herausgeholt, und auf gleiche Weise wieder hineingebracht werden.

§. 145.

Bey Pumpen von sehr beträchtlicher Weite, z. B. 20, 30, 36 Zoll im Durchmesser*) giebt man den Kolben und Ventilstöcken die Fig. 2. im vertikalen Durchschnitt, und Fig. 3. perspektivisch dargestellte Form, welche den besondern Vortheil gewährt, daß die ihrer Stärke wegen nothwendigerweise ziemlich schweren Klappen von

*) Pumpen von dieser Grösse sind bey den englischen Dampfmaschinen, besonders bey solchen, welche die Aufschlagwasser auf Kunsträder für mehrere Gefälle zurückheben, gar nichts Seltenes.

von dem eindringenden Wasser leichter aufgestossen werden, und, indem sie sich beynahe lothrecht aufrichten, dasselbe in gerader Richtung und mit weniger Widerstand durchströmen lassen, als bey der auf der vierten Tafel vorgestellten gewöhnlichen Einrichtung. Auch bleibt bey diesen schiefen Klappen an den Rändern, wo sie aufliegen, nicht so leicht, wie bey den horizontalen, Sand oder anderer mit dem Wasser eingezogener Unrath liegen, wodurch das Zufallen dieser leztern manchmal plötzlich gehindert, und die Wirkung der ganzen Maschine unterbrochen wird. Weil aber diese Klappen, nachdem sie sich ganz lothrecht aufgerichtet haben, vermög ihres eigenen Gewichtes nicht schnell genug zurück fallen, und daher bey jedesmaligem Wechsel des Kolbenspiels zu viel Wasser aus dem Stiefel in das Saugrohr zurück sinken lassen, so thut man sehr wohl, wenn man entweder auf den Klappen selbst, oder am Stege zu beyden Seiten eiserne oder messingene Federn anbringt, welche den Hub derselben begränzen, und zugleich ihr Zurückfallen beschleunigen.

§. 146.

Statt der oben beschriebenen, auf der vierten Tafel abgebildeten eisernen Ventil- oder Kolbenthüren kann man diese Oefnungen auch mit einem hölzernen Klotze verschliessen. Das Ventil- oder Kolbenthürstück (welches auf der fünften Tafel Fig. 5. im Profil, Fig. 6. nach der Ansicht von vorne, Fig. 7. von oben, und Fig. 8. perspektivisch nach einem grössern Maaßstabe gezeichnet ist) bekömmt zu diesem Ende einen Schlund, welcher die Gestalt einer abgestumpften viereckten Pyramide hat, und so weit ist, daß das Ventil oder der Kolben durch seinen kleinsten innern Querschnitt bequem passiren kann. In diesen Schlund wird ein hölzerner genau passender Klotz a b c d Fig. 5, 6, welcher mit Stopptuch überzogen ist, eingeschoben, und mittelst vier starker Schrauben s s so fest eingedrückt, daß die in der Pumpe enthaltene Wassersäule keinen Tropfen zwischen seinen Fugen auspressen, noch den Klotz selbst heraus treiben kann. Zu diesem Zwecke sind an dessen äussern Fläche zwey starke eiserne Schienen m m, n n befestigt, welche an ihren zu beyden Seiten vorstehenden Enden Löcher haben; durch diese Löcher werden die Schraubenbolzen s s gesteckt, welche eigentlich nur die abgerundeten Ende der eisernen von aussen um den Zylinder gelegten Bänder oder Reifen r r sind, und mittelst der Schraubenmuttern fest angezogen werden. Damit diese Bänder vermög ihrer Schwere an der äussern Fläche des Zylinders nicht herunter gleiten, sondern

in

in ihrer Richtung unverändert bleiben mögen, sind rings an demselben und den Seiten des Schlundes kleine Zäpfgen angegossen, welche diesen Bändern zur Unterlage dienen.

Wenn die Lappen oder Muttern von den vier Schrauben s s los gemacht sind, so geht der Klotz durch den Druck der innern Wassersäule leicht von selbst heraus.

Man kann diesen Klotz von Büchen- oder Eichenholz aus einem oder mehreren Stücken verfertigen, doch hat man die Vorsicht zu beobachten, daß man denselben erst einige Wochen in Wasser verquellen lasse, und dann noch einmal nach der Weite des Schlundes zurichte, indem sonst, wenn das Holz ganz trocken hineingetrieben würde, dasselbe von dem aus der Pumpe eindringenden Wasser zu stark anschwellen, und entweder den eisernen Schlund zerbersten, oder doch wenigstens verursachen könnte, daß der Klotz gar nicht wieder heraus zu bringen wäre.*)

§. 147.

Bey den gewöhnlichen Saug- und Hebpumpen ragt die Kolben- oder Zugstange über der Ausgußstelle hervor, und die bewegende Kraft muß an dem obersten Ende dieser Stange, folglich allemal höher als der Ausguß, angebracht werden. Man hat aber auch eine Art von Saug- und Hebpumpen mit ganz kurzen Kolbenstangen, welche nicht durch die Aufsatzröhren gehen, und wo die Kraft, wie bey Druckwerken zunächst am Stiefel, folglich weit niedriger als die Stelle des Ausgusses, angebracht werden kann, indem die Aufsatzröhren nicht eine ununterbrochene Röhrenstrecke mit dem Stiefel bilden, sondern von diesem abgesondert seitwärts, wie bey einem Druckwerk, sich befinden. Eine Pumpe von dieser Art, welche man in England Liftingpump oder lackpump zu nennen pflegt, ist auf der fünften Tafel Fig. 9. abgebildet. Das Saugrohr ufgu, das Ventil, welches bey uu sizt, und der Kolben selbst hat vollkommen dieselbe Einrichtung, wie bey einer gewöhnlichen englischen Saug- und Hebpumpe. Der Stiefel abcd hingegen ist oben mit einem vorstehenden Rande (Flanch) versehen, und mit einer auf diesen

*) Herr Oberbergrath Bückling bedient sich dieser Klotze statt der eisernen Thüren mit vielem Vortheil bey den von ihm zu Burgörner auf der preußischen Hoheit, und auf der Saline zu Schönebeck erbauten Feuermaschinen.

sen Rand genau passenden eisernen Scheibe oder Platte a d verschlossen, durch deren Mitte die eiserne genau abgedrehte*) Kolbenstange k k vollkommen luft- und wasserdicht auf und nieder bewegt wird. Dicht unter dem obern Rande a d ist an dem Stiefel ein horizontales Rohr r angegossen, welches durch das gebogene Kniestück n m m n mit den Aufsatz- oder Steigröhren h h in Verbindung steht. Wenn nun der Kolben in dieser Pumpe aufwärts gezogen wird, so zieht er das Wasser unter sich durch die Saugröhre ein, und drückt zugleich das (nach einigen wiederholten Zügen) über ihm befindliche Wasser durch das Seitenrohr r in die Steigröhren h h, welche, nach Erforderniß der Umstände, eine saigere Höhe von 100 Fuß und darüber haben können.

§. 148.

Die Hauptsache, worauf es bey einer solchen Pumpe ankömmt, ist die Liederung der Kolbenstange, da wo sie durch den Deckel geht, oder eine zweckmässige Vorrichtung, wodurch die Beweglichkeit dieser Stange mit einer so vollkommnen Dichte verbunden wird, daß der beträchtliche Druck der im Steigrohr enthaltenen Wassersäule keinen Tropfen neben oder zwischen derselben auspressen kann. Zu diesem Ende ist auf der Mitte des Deckels m n (Fig. 2, Tab. VI.) eine Büchse a b c d angegossen, welche von oben zylindrisch, gegen unten zu aber konisch ausgebohrt wird, und aussen mit zween kurzen Zapfen g, g versehen ist, wie die Zeichnung im lothrechten Durchschnitte darstellt. Diese Büchse wird, wenn der Kolben schon im Stiefel steht, sammt der Platte m m von oben über die Kolbenstange k k gesteckt, und nun zuerst die Platte oder der Deckel (mit darzwischen gelegtem Flanell und Kütte) auf den Obertheil des Stiefels mittelst mehrerer Schraubenbolzen auf die gewöhnliche Art befestigt. Hierauf werden von altem gezupften Tau oder Schiefseil (welches die Engländer Oakum nennen) Fäden, wie die Dochte einer Kerze gedreht, und, nachdem solche in Oel wohl getränkt worden, in die Höhlung der Büchse spiralförmig um die Kolbenstange gewunden und dicht auf einander gedrückt, bis die Büchse beynahe ganz voll ist. Nunmehr wird ein andrer

von

*) Man hat in England eigene Maschinen, durch welche dergleichen Stangen von jeder Dicke genau zylindrisch abgezogen oder gestreckt werden.

in ihrer Richtung unverändert bleiben mögen, sind rings an demselben und den Seiten des Schlundes kleine Zäpfgen angegossen, welche diesen Bändern zur Unterlage dienen.

Wenn die Lappen oder Muttern von den vier Schrauben s s los gemacht sind, so geht der Klotz durch den Druck der innern Wassersäule leicht von selbst heraus.

Man kann diesen Klotz von Büchen- oder Eichenholz aus einem oder mehreren Stücken verfertigen, doch hat man die Vorsicht zu beobachten, daß man denselben erst einige Wochen in Wasser verquellen lasse, und dann noch einmal nach der Weite des Schlundes zurichte, indem sonst, wenn das Holz ganz trocken hineingetrieben würde, dasselbe von dem aus der Pumpe eindringenden Wasser zu stark anschwellen, und entweder den eisernen Schlund zerbersten, oder doch wenigstens verursachen könnte, daß der Klotz gar nicht wieder heraus zu bringen wäre.*)

§. 147.

Bey den gewöhnlichen Saug- und Hebpumpen ragt die Kolben- oder Zugstange über der Ausgußstelle hervor, und die bewegende Kraft muß an dem obersten Ende dieser Stange, folglich allemal höher als der Ausguß, angebracht werden. Man hat aber auch eine Art von Saug- und Hebpumpen mit ganz kurzen Kolbenstangen, welche nicht durch die Aufsatzröhren gehen, und wo die Kraft, wie bey Druckwerken zunächst am Stiefel, folglich weit niedriger als die Stelle des Ausgusses, angebracht werden kann, indem die Aufsatzröhren nicht eine ununterbrochene Röhrenstrecke mit dem Stiefel bilden, sondern von diesem abgesondert seitwärts, wie bey einem Druckwerk, sich befinden. Eine Pumpe von dieser Art, welche man in England Liftingpump oder Iackpump zu nennen pflegt, ist auf der fünften Tafel Fig. 9. abgebildet. Das Saugrohr u f g u, das Ventil, welches bey u u sizt, und der Kolben selbst hat vollkommen dieselbe Einrichtung, wie bey einer gewöhnlichen englischen Saug- und Hebpumpe. Der Stiefel a b c d hingegen ist oben mit einem vorstehenden Rande (Flanch) versehen, und mit einer auf diesen

*) Herr Oberbergrath Bückling bedient sich dieser Klotze statt der eisernen Thüren mit vielem Vortheil bey den von ihm zu Burgörner auf der preußischen Hoheit, und auf der Saline zu Schönebeck erbauten Feuermaschinen.

sen Rand genau passenden eisernen Scheibe oder Platte a d verschlossen, durch deren Mitte die eiserne genau abgedrehte*) Kolbenstange k k vollkommen luft- und wasserdicht auf und nieder bewegt wird. Dicht unter dem obern Rande a d ist an dem Stiefel ein horizontales Rohr r angegossen, welches durch das gebogene Kniestück n m m n mit den Aufsatz- oder Steigröhren h h in Verbindung steht. Wenn nun der Kolben in dieser Pumpe aufwärts gezogen wird, so zieht er das Wasser unter sich durch die Saugröhre ein, und drückt zugleich das (nach einigen wiederholten Zügen) über ihm befindliche Wasser durch das Seitenrohr r in die Steigröhren h h, welche, nach Erforderniß der Umstände, eine saigere Höhe von 100 Fuß und darüber haben können.

§. 148.

Die Hauptsache, worauf es bey einer solchen Pumpe ankömmt, ist die Liederung der Kolbenstange, da wo sie durch den Deckel geht, oder eine zweckmässige Vorrichtung, wodurch die Beweglichkeit dieser Stange mit einer so vollkommnen Dichte verbunden wird, daß der beträchtliche Druck der im Steigrohr enthaltenen Wassersäule keinen Tropfen neben oder zwischen derselben auspressen kann. Zu diesem Ende ist auf der Mitte des Deckels m n (Fig. 2, Tab. VI.) eine Büchse a b c d angegossen, welche von oben zylindrisch, gegen unten zu aber konisch ausgebohrt wird, und aussen mit zween kurzen Zapfen g, g versehen ist, wie die Zeichnung im lothrechten Durchschnitte darstellt. Diese Büchse wird, wenn der Kolben schon im Stiefel steht, sammt der Platte m m von oben über die Kolbenstange k k gesteckt, und nun zuerst die Platte oder der Deckel (mit darzwischen gelegtem Flanell und Kütte) auf den Obertheil des Stiefels mittelst mehrerer Schraubenbolzen auf die gewöhnliche Art befestigt. Hierauf werden von altem gezupften Tau oder Schiefseil (welches die Engländer Oakum nennen) Fäden, wie die Dochte einer Kerze gedreht, und, nachdem solche in Oel wohl getränkt worden, in die Höhlung der Büchse spiralförmig um die Kolbenstange gewunden und dicht auf einander gedrückt, bis die Büchse beynahe ganz voll ist. Nunmehr wird ein andrer von

*) Man hat in England eigene Maschinen, durch welche dergleichen Stangen von jeder Dicke genau zylindrisch abgezogen oder gestreckt werden.

in ihrer Richtung unverändert bleiben mögen, sind rings an demselben und den Seiten des Schlundes kleine Zäpfgen angegossen, welche diesen Bändern zur Unterlage dienen.

Wenn die Lappen oder Muttern von den vier Schrauben s s los gemacht sind, so geht der Klotz durch den Druck der innern Wassersäule leicht von selbst heraus.

Man kann diesen Klotz von Büchen- oder Eichenholz aus einem oder mehreren Stücken verfertigen, doch hat man die Vorsicht zu beobachten, daß man denselben erst einige Wochen in Wasser verquellen lasse, und dann noch einmal nach der Weite des Schlundes zurichte, indem sonst, wenn das Holz ganz trocken hineingetrieben würde, dasselbe von dem aus der Pumpe eindringenden Wasser zu stark anschwellen, und entweder den eisernen Schlund zerbersten, oder doch wenigstens verursachen könnte, daß der Klotz gar nicht wieder heraus zu bringen wäre.*)

§. 147.

Bey den gewöhnlichen Saug- und Hebpumpen ragt die Kolben- oder Zugstange über der Ausgußstelle hervor, und die bewegende Kraft muß an dem obersten Ende dieser Stange, folglich allemal höher als der Ausguß, angebracht werden. Man hat aber auch eine Art von Saug- und Hebpumpen mit ganz kurzen Kolbenstangen, welche nicht durch die Aufsatzröhren gehen, und wo die Kraft, wie bey Druckwerken zunächst am Stiefel, folglich weit niedriger als die Stelle des Ausgusses, angebracht werden kann, indem die Aufsatzröhren nicht eine ununterbrochene Röhrenstrecke mit dem Stiefel bilden, sondern von diesem abgesondert seitwärts, wie bey einem Druckwerk, sich befinden. Eine Pumpe von dieser Art, welche man in England Liftingpump oder Iackpump zu nennen pflegt, ist auf der fünften Tafel Fig. 9. abgebildet. Das Saugrohr u f g u, das Ventil, welches bey u u sizt, und der Kolben selbst hat vollkommen dieselbe Einrichtung, wie bey einer gewöhnlichen englischen Saug- und Hebpumpe. Der Stiefel a b c d hingegen ist oben mit einem vorstehenden Rande (Flanch) versehen, und mit einer auf diesen

*) Herr Oberbergrath Bückling bedient sich dieser Klotze statt der eisernen Thüren mit vielem Vortheil bey den von ihm zu Burgörner auf der preußischen Hoheit, und auf der Saline zu Schönebeck erbauten Feuermaschinen.

sen Rand genau passenden eisernen Scheibe oder Platte a d verschlossen, durch deren Mitte die eiserne genau abgedrehte*) Kolbenstange k k vollkommen luft- und wasserdicht auf und nieder bewegt wird. Dicht unter dem obern Rande a d ist an dem Stiefel ein horizontales Rohr r angegossen, welches durch das gebogene Kniestück n m m n mit den Aufsatz- oder Steigröhren h h in Verbindung steht. Wenn nun der Kolben in dieser Pumpe aufwärts gezogen wird, so zieht er das Wasser unter sich durch die Saugröhre ein, und drückt zugleich das (nach einigen wiederholten Zügen) über ihm befindliche Wasser durch das Seitenrohr r in die Steigröhren h h, welche, nach Erforderniß der Umstände, eine saigere Höhe von 100 Fuß und darüber haben können.

§. 148.

Die Hauptsache, worauf es bey einer solchen Pumpe ankömmt, ist die Liederung der Kolbenstange, da wo sie durch den Deckel geht, oder eine zweckmässige Vorrichtung, wodurch die Beweglichkeit dieser Stange mit einer so vollkommnen Dichte verbunden wird, daß der beträchtliche Druck der im Steigrohr enthaltenen Wassersäule keinen Tropfen neben oder zwischen derselben auspressen kann. Zu diesem Ende ist auf der Mitte des Deckels m n (Fig. 2, Tab. VI.) eine Büchse a b c d angegossen, welche von oben zylindrisch, gegen unten zu aber konisch ausgebohrt wird, und aussen mit zween kurzen Zapfen g, g versehen ist, wie die Zeichnung im lothrechten Durchschnitte darstellt. Diese Büchse wird, wenn der Kolben schon im Stiefel steht, sammt der Platte m m von oben über die Kolbenstange k k gesteckt, und nun zuerst die Platte oder der Deckel (mit darzwischen gelegtem Flanell und Kütte) auf den Obertheil des Stiefels mittelst mehrerer Schraubenbolzen auf die gewöhnliche Art befestigt. Hierauf werden von altem gezupften Tau oder Schiefseil (welches die Engländer Oakum nennen) Fäden, wie die Dochte einer Kerze gedreht, und, nachdem solche in Oel wohl getränkt worden, in die Höhlung der Büchse spiralförmig um die Kolbenstange gewunden und dicht auf einander gedrückt, bis die Büchse beynahe ganz voll ist. Nunmehr wird ein andrer von

*) Man hat in England eigene Maschinen, durch welche dergleichen Stangen von jeder Dicke genau zylindrisch abgezogen oder gestreckt werden.

in ihrer Richtung unverändert bleiben mögen, sind rings an demselben und den Seiten des Schlundes kleine Zäpfgen angegossen, welche diesen Bändern zur Unterlage dienen.

Wenn die Lappen oder Muttern von den vier Schrauben s s los gemacht sind, so geht der Klotz durch den Druck der innern Wassersäule leicht von selbst heraus.

Man kann diesen Klotz von Büchen- oder Eichenholz aus einem oder mehreren Stücken verfertigen, doch hat man die Vorsicht zu beobachten, daß man denselben erst einige Wochen in Wasser verquellen lasse, und dann noch einmal nach der Weite des Schlundes zurichte, indem sonst, wenn das Holz ganz trocken hineingetrieben würde, dasselbe von dem aus der Pumpe eindringenden Wasser zu stark anschwellen, und entweder den eisernen Schlund zerbersten, oder doch wenigstens verursachen könnte, daß der Klotz gar nicht wieder heraus zu bringen wäre.*)

§. 147.

Bey den gewöhnlichen Saug- und Hebpumpen ragt die Kolben- oder Zugstange über der Ausgußstelle hervor, und die bewegende Kraft muß an dem obersten Ende dieser Stange, folglich allemal höher als der Ausguß, angebracht werden. Man hat aber auch eine Art von Saug- und Hebpumpen mit ganz kurzen Kolbenstangen, welche nicht durch die Aufsatzröhren gehen, und wo die Kraft, wie bey Druckwerken zunächst am Stiefel, folglich weit niedriger als die Stelle des Ausgusses, angebracht werden kann, indem die Aufsatzröhren nicht eine ununterbrochene Röhrenstrecke mit dem Stiefel bilden, sondern von diesem abgesondert seitwärts, wie bey einem Druckwerk, sich befinden. Eine Pumpe von dieser Art, welche man in England Liftingpump oder Iackpump zu nennen pflegt, ist auf der fünften Tafel Fig. 9. abgebildet. Das Saugrohr u f g u, das Ventil, welches bey u u sizt, und der Kolben selbst hat vollkommen dieselbe Einrichtung, wie bey einer gewöhnlichen englischen Saug- und Hebpumpe. Der Stiefel a b c d hingegen ist oben mit einem vorstehenden Rande (Flanch) versehen, und mit einer auf diesen

*) Herr Oberbergrath Bückling bedient sich dieser Klotze statt der eisernen Thüren mit vielem Vortheil bey den von ihm zu Burgörner auf der preußischen Hoheit, und auf der Saline zu Schönebeck erbauten Feuermaschinen.

sen Rand genau passenden eisernen Scheibe oder Platte a d verschlossen, durch deren Mitte die eiserne genau abgedrehte*) Kolbenstange k k vollkommen luft- und wasserdicht auf und nieder bewegt wird. Dicht unter dem obern Rande a d ist an dem Stiefel ein horizontales Rohr r angegossen, welches durch das gebogene Kniestück n m m n mit den Aufsatz- oder Steigröhren h h in Verbindung steht. Wenn nun der Kolben in dieser Pumpe aufwärts gezogen wird, so zieht er das Wasser unter sich durch die Saugröhre ein, und drückt zugleich das (nach einigen wiederholten Zügen) über ihm befindliche Wasser durch das Seitenrohr r in die Steigröhren h h, welche, nach Erforderniß der Umstände, eine saigere Höhe von 100 Fuß und darüber haben können.

§. 148.

Die Hauptsache, worauf es bey einer solchen Pumpe ankömmt, ist die Liederung der Kolbenstange, da wo sie durch den Deckel geht, oder eine zweckmässige Vorrichtung, wodurch die Beweglichkeit dieser Stange mit einer so vollkommnen Dichte verbunden wird, daß der beträchtliche Druck der im Steigrohr enthaltenen Wassersäule keinen Tropfen neben oder zwischen derselben auspressen kann. Zu diesem Ende ist auf der Mitte des Deckels m n (Fig. 2, Tab. VI.) eine Büchse a b c d angegossen, welche von oben zylindrisch, gegen unten zu aber konisch ausgebohrt wird, und aussen mit zween kurzen Zapfen g, g versehen ist, wie die Zeichnung im lothrechten Durchschnitte darstellt. Diese Büchse wird, wenn der Kolben schon im Stiefel steht, sammt der Platte m m von oben über die Kolbenstange k k gesteckt, und nun zuerst die Platte oder der Deckel (mit darzwischen gelegtem Flanell und Kütte) auf den Obertheil des Stiefels mittelst mehrerer Schraubenbolzen auf die gewöhnliche Art befestigt. Hierauf werden von altem gezupften Tau oder Schiefseil (welches die Engländer Oakum nennen) Fäden, wie die Dochte einer Kerze gedreht, und, nachdem solche in Oel wohl getränkt worden, in die Höhlung der Büchse spiralförmig um die Kolbenstange gewunden und dicht auf einander gedrückt, bis die Büchse beynahe ganz voll ist. Nunmehr wird ein andrer von

*) Man hat in England eigene Maschinen, durch welche dergleichen Stangen von jeder Dicke genau zylindrisch abgezogen oder gestreckt werden.

in ihrer Richtung unverändert bleiben mögen, sind rings an demselben und den Seiten des Schlundes kleine Zäpfgen angegossen, welche diesen Bändern zur Unterlage dienen.

Wenn die Lappen oder Muttern von den vier Schrauben s s los gemacht sind, so geht der Klotz durch den Druck der innern Wassersäule leicht von selbst heraus.

Man kann diesen Klotz von Büchen- oder Eichenholz aus einem oder mehreren Stücken verfertigen, doch hat man die Vorsicht zu beobachten, daß man denselben erst einige Wochen in Wasser verquellen lasse, und dann noch einmal nach der Weite des Schlundes zurichte, indem sonst, wenn das Holz ganz trocken hineingetrieben würde, dasselbe von dem aus der Pumpe eindringenden Wasser zu stark anschwellen, und entweder den eisernen Schlund zerbersten, oder doch wenigstens verursachen könnte, daß der Klotz gar nicht wieder heraus zu bringen wäre.*)

§. 147.

Bey den gewöhnlichen Saug- und Hebpumpen ragt die Kolben- oder Zugstange über der Ausgußstelle hervor, und die bewegende Kraft muß an dem obersten Ende dieser Stange, folglich allemal höher als der Ausguß, angebracht werden. Man hat aber auch eine Art von Saug- und Hebpumpen mit ganz kurzen Kolbenstangen, welche nicht durch die Aufsatzröhren gehen, und wo die Kraft, wie bey Druckwerken zunächst am Stiefel, folglich weit niedriger als die Stelle des Ausgusses, angebracht werden kann, indem die Aufsatzröhren nicht eine ununterbrochene Röhrenstrecke mit dem Stiefel bilden, sondern von diesem abgesondert seitwärts, wie bey einem Druckwerk, sich befinden. Eine Pumpe von dieser Art, welche man in England Liftingpump oder Iackpump zu nennen pflegt, ist auf der fünften Tafel Fig. 9. abgebildet. Das Saugrohr ufgu, das Ventil, welches bey uu sizt, und der Kolben selbst hat vollkommen dieselbe Einrichtung, wie bey einer gewöhnlichen englischen Saug- und Hebpumpe. Der Stiefel abcd hingegen ist oben mit einem vorstehenden Rande (Flanch) versehen, und mit einer auf diesen

*) Herr Oberbergrath Bückling bedient sich dieser Klotze statt der eisernen Thüren mit vielem Vortheil bey den von ihm zu Burgörner auf der preußischen Hoheit, und auf der Saline zu Schönebeck erbauten Feuermaschinen.

sen Rand genau passenden eisernen Scheibe oder Platte a d verschlossen, durch deren Mitte die eiserne genau abgedrehte*) Kolbenstange k k vollkommen luft- und wasserdicht auf und nieder bewegt wird. Dicht unter dem obern Rande a d ist an dem Stiefel ein horizontales Rohr r angegossen, welches durch das gebogene Kniestück n m m n mit den Aufsatz- oder Steigröhren h h in Verbindung steht. Wenn nun der Kolben in dieser Pumpe aufwärts gezogen wird, so zieht er das Wasser unter sich durch die Saugröhre ein, und drückt zugleich das (nach einigen wiederholten Zügen) über ihm befindliche Wasser durch das Seitenrohr r in die Steigröhren h h, welche, nach Erforderniß der Umstände, eine saigere Höhe von 100 Fuß und darüber haben können.

§. 148.

Die Hauptsache, worauf es bey einer solchen Pumpe ankömmt, ist die Liederung der Kolbenstange, da wo sie durch den Deckel geht, oder eine zweckmässige Vorrichtung, wodurch die Beweglichkeit dieser Stange mit einer so vollkommnen Dichte verbunden wird, daß der beträchtliche Druck der im Steigrohr enthaltenen Wassersäule keinen Tropfen neben oder zwischen derselben auspressen kann. Zu diesem Ende ist auf der Mitte des Deckels m n (Fig. 2, Tab. VI.) eine Büchse a b c d angegossen, welche von oben zylindrisch, gegen unten zu aber konisch ausgebohrt wird, und aussen mit zween kurzen Zapfen g, g versehen ist, wie die Zeichnung im lothrechten Durchschnitte darstellt. Diese Büchse wird, wenn der Kolben schon im Stiefel steht, sammt der Platte m m von oben über die Kolbenstange k k gesteckt, und nun zuerst die Platte oder der Deckel (mit darzwischen gelegtem Flanell und Kütte) auf den Obertheil des Stiefels mittelst mehrerer Schraubenbolzen auf die gewöhnliche Art befestigt. Hierauf werden von altem gezupften Tau oder Schiefseil (welches die Engländer Oakum nennen) Fäden, wie die Dochte einer Kerze gedreht, und, nachdem solche in Oel wohl getränkt worden, in die Höhlung der Büchse spiralförmig um die Kolbenstange gewunden und dicht auf einander gedrückt, bis die Büchse beynahe ganz voll ist. Nunmehr wird ein andrer von

*) Man hat in England eigene Maschinen, durch welche dergleichen Stangen von jeder Dicke genau zylindrisch abgezogen oder gestreckt werden.

in ihrer Richtung unverändert bleiben mögen, sind rings an demselben und den Seiten des Schlundes kleine Zäpfgen angegossen, welche diesen Bändern zur Unterlage dienen.

Wenn die Lappen oder Muttern von den vier Schrauben s s los gemacht sind, so geht der Klotz durch den Druck der innern Wassersäule leicht von selbst heraus.

Man kann diesen Klotz von Büchen- oder Eichenholz aus einem oder mehreren Stücken verfertigen, doch hat man die Vorsicht zu beobachten, daß man denselben erst einige Wochen in Wasser verquellen lasse, und dann noch einmal nach der Weite des Schlundes zurichte, indem sonst, wenn das Holz ganz trocken hineingetrieben würde, dasselbe von dem aus der Pumpe eindringenden Wasser zu stark anschwellen, und entweder den eisernen Schlund zerbersten, oder doch wenigstens verursachen könnte, daß der Klotz gar nicht wieder heraus zu bringen wäre.*)

§. 147.

Bey den gewöhnlichen Saug- und Hebpumpen ragt die Kolben- oder Zugstange über der Ausgußstelle hervor, und die bewegende Kraft muß an dem obersten Ende dieser Stange, folglich allemal höher als der Ausguß, angebracht werden. Man hat aber auch eine Art von Saug- und Hebpumpen mit ganz kurzen Kolbenstangen, welche nicht durch die Aufsatzröhren gehen, und wo die Kraft, wie bey Druckwerken zunächst am Stiefel, folglich weit niedriger als die Stelle des Ausgusses, angebracht werden kann, indem die Aufsatzröhren nicht eine ununterbrochene Röhrenstrecke mit dem Stiefel bilden, sondern von diesem abgesondert seitwärts, wie bey einem Druckwerk, sich befinden. Eine Pumpe von dieser Art, welche man in England Liftingpump oder Iackpump zu nennen pflegt, ist auf der fünften Tafel Fig. 9. abgebildet. Das Saugrohr ufgu, das Ventil, welches bey uu sizt, und der Kolben selbst hat vollkommen dieselbe Einrichtung, wie bey einer gewöhnlichen englischen Saug- und Hebpumpe. Der Stiefel abcd hingegen ist oben mit einem vorstehenden Rande (Flanch) versehen, und mit einer auf diesen

*) Herr Oberbergrath Bückling bedient sich dieser Klotze statt der eisernen Thüren mit vielem Vortheil bey den von ihm zu Burgörner auf der preußischen Hoheit, und auf der Saline zu Schönebeck erbauten Feuermaschinen.

sen Rand genau passenden eisernen Scheibe oder Platte a d verschlossen, durch deren Mitte die eiserne genau abgedrehte*) Kolbenstange k k vollkommen luft- und wasserdicht auf und nieder bewegt wird. Dicht unter dem obern Rande a d ist an dem Stiefel ein horizontales Rohr r angegossen, welches durch das gebogene Kniestück n m m n mit den Aufsatz- oder Steigröhren h h in Verbindung steht. Wenn nun der Kolben in dieser Pumpe aufwärts gezogen wird, so zieht er das Wasser unter sich durch die Saugröhre ein, und drückt zugleich das (nach einigen wiederholten Zügen) über ihm befindliche Wasser durch das Seitenrohr r in die Steigröhren h h, welche, nach Erforderniß der Umstände, eine saigere Höhe von 100 Fuß und darüber haben können.

§. 148.

Die Hauptsache, worauf es bey einer solchen Pumpe ankömmt, ist die Liederung der Kolbenstange, da wo sie durch den Deckel geht, oder eine zweckmässige Vorrichtung, wodurch die Beweglichkeit dieser Stange mit einer so vollkommnen Dichte verbunden wird, daß der beträchtliche Druck der im Steigrohr enthaltenen Wassersäule keinen Tropfen neben oder zwischen derselben auspressen kann. Zu diesem Ende ist auf der Mitte des Deckels m n (Fig. 2, Tab. VI.) eine Büchse a b c d angegossen, welche von oben zylindrisch, gegen unten zu aber konisch ausgebohrt wird, und aussen mit zween kurzen Zapfen g, g versehen ist, wie die Zeichnung im lothrechten Durchschnitte darstellt. Diese Büchse wird, wenn der Kolben schon im Stiefel steht, sammt der Platte m m von oben über die Kolbenstange k k gesteckt, und nun zuerst die Platte oder der Deckel (mit darzwischen gelegtem Flanell und Kütte) auf den Obertheil des Stiefels mittelst mehrerer Schraubenbolzen auf die gewöhnliche Art befestigt. Hierauf werden von altem gezupften Tau oder Schiefseil (welches die Engländer Oakum nennen) Fäden, wie die Dochte einer Kerze gedreht, und, nachdem solche in Oel wohl getränkt worden, in die Höhlung der Büchse spiralförmig um die Kolbenstange gewunden und dicht auf einander gedrückt, bis die Büchse beynahe ganz voll ist. Nunmehr wird ein andrer

von

*) Man hat in England eigene Maschinen, durch welche dergleichen Stangen von jeder Dicke genau zylindrisch abgezogen oder gestreckt werden.

in ihrer Richtung unverändert bleiben mögen, sind rings an demselben und den Seiten des Schlundes kleine Zäpfgen angegossen, welche diesen Bändern zur Unterlage dienen.

Wenn die Lappen oder Muttern von den vier Schrauben s s los gemacht sind, so geht der Klotz durch den Druck der innern Wassersäule leicht von selbst heraus.

Man kann diesen Klotz von Büchen- oder Eichenholz aus einem oder mehreren Stücken verfertigen, doch hat man die Vorsicht zu beobachten, daß man denselben erst einige Wochen in Wasser verquellen lasse, und dann noch einmal nach der Weite des Schlundes zurichte, indem sonst, wenn das Holz ganz trocken hineingetrieben würde, dasselbe von dem aus der Pumpe eindringenden Wasser zu stark anschwellen, und entweder den eisernen Schlund zerbersten, oder doch wenigstens verursachen könnte, daß der Klotz gar nicht wieder heraus zu bringen wäre.*)

§. 147.

Bey den gewöhnlichen Saug- und Hebpumpen ragt die Kolben- oder Zugstange über der Ausgußstelle hervor, und die bewegende Kraft muß an dem obersten Ende dieser Stange, folglich allemal höher als der Ausguß, angebracht werden. Man hat aber auch eine Art von Saug- und Hebpumpen mit ganz kurzen Kolbenstangen, welche nicht durch die Aufsatzröhren gehen, und wo die Kraft, wie bey Druckwerken zunächst am Stiefel, folglich weit niedriger als die Stelle des Ausgusses, angebracht werden kann, indem die Aufsatzröhren nicht eine ununterbrochene Röhrenstrecke mit dem Stiefel bilden, sondern von diesem abgesondert seitwärts, wie bey einem Druckwerk, sich befinden. Eine Pumpe von dieser Art, welche man in England Liftingpump oder Iackpump zu nennen pflegt, ist auf der fünften Tafel Fig. 9. abgebildet. Das Saugrohr ufgu, das Ventil, welches bey uu sizt, und der Kolben selbst hat vollkommen dieselbe Einrichtung, wie bey einer gewöhnlichen englischen Saug- und Hebpumpe. Der Stiefel abcd hingegen ist oben mit einem vorstehenden Rande (Flanch) versehen, und mit einer auf diesen

*) Herr Oberbergrath Bückling bedient sich dieser Klotze statt der eisernen Thüren mit vielem Vortheil bey den von ihm zu Burgörner auf der preußischen Hoheit, und auf der Saline zu Schönebeck erbauten Feuermaschinen.

sen Rand genau passenden eisernen Scheibe oder Platte a d verschlossen, durch deren Mitte die eiserne genau abgedrehte*) Kolbenstange k k vollkommen luft- und wasserdicht auf und nieder bewegt wird. Dicht unter dem obern Rande a d ist an dem Stiefel ein horizontales Rohr r angegossen, welches durch das gebogene Kniestück n m m n mit den Aufsatz- oder Steigröhren h h in Verbindung steht. Wenn nun der Kolben in dieser Pumpe aufwärts gezogen wird, so zieht er das Wasser unter sich durch die Saugröhre ein, und drückt zugleich das (nach einigen wiederholten Zügen) über ihm befindliche Wasser durch das Seitenrohr r in die Steigröhren h h, welche, nach Erforderniß der Umstände, eine saigere Höhe von 100 Fuß und darüber haben können.

§. 148.

Die Hauptsache, worauf es bey einer solchen Pumpe ankömmt, ist die Liederung der Kolbenstange, da wo sie durch den Deckel geht, oder eine zweckmässige Vorrichtung, wodurch die Beweglichkeit dieser Stange mit einer so vollkommnen Dichte verbunden wird, daß der beträchtliche Druck der im Steigrohr enthaltenen Wassersäule keinen Tropfen neben oder zwischen derselben auspressen kann. Zu diesem Ende ist auf der Mitte des Deckels m n (Fig. 2, Tab. VI.) eine Büchse a b c d angegossen, welche von oben zylindrisch, gegen unten zu aber konisch ausgebohrt wird, und aussen mit zween kurzen Zapfen g, g versehen ist, wie die Zeichnung im lothrechten Durchschnitte darstellt. Diese Büchse wird, wenn der Kolben schon im Stiefel steht, sammt der Platte m m von oben über die Kolbenstange k k gesteckt, und nun zuerst die Platte oder der Deckel (mit darzwischen gelegtem Flanell und Kütte) auf den Obertheil des Stiefels mittelst mehrerer Schraubenbolzen auf die gewöhnliche Art befestigt. Hierauf werden von altem gezupften Tau oder Schiefseil (welches die Engländer Oakum nennen) Fäden, wie die Dochte einer Kerze gedreht, und, nachdem solche in Oel wohl getränkt worden, in die Höhlung der Büchse spiralförmig um die Kolbenstange gewunden und dicht auf einander gedrückt, bis die Büchse beynahe ganz voll ist. Nunmehr wird ein andrer

von

*) Man hat in England eigene Maschinen, durch welche dergleichen Stangen von jeder Dicke genau zylindrisch abgezogen oder gestreckt werden.

in ihrer Richtung unverändert bleiben mögen, sind rings an demselben und den Seiten des Schlundes kleine Zäpfgen angegossen, welche diesen Bändern zur Unterlage dienen.

Wenn die Lappen oder Muttern von den vier Schrauben s s los gemacht sind, so geht der Klotz durch den Druck der innern Wassersäule leicht von selbst heraus.

Man kann diesen Klotz von Büchen- oder Eichenholz aus einem oder mehreren Stücken verfertigen, doch hat man die Vorsicht zu beobachten, daß man denselben erst einige Wochen in Wasser verquellen lasse, und dann noch einmal nach der Weite des Schlundes zurichte, indem sonst, wenn das Holz ganz trocken hineingetrieben würde, dasselbe von dem aus der Pumpe eindringenden Wasser zu stark anschwellen, und entweder den eisernen Schlund zerbersten, oder doch wenigstens verursachen könnte, daß der Klotz gar nicht wieder heraus zu bringen wäre.*)

§. 147.

Bey den gewöhnlichen Saug- und Hebpumpen ragt die Kolben- oder Zugstange über der Ausgußstelle hervor, und die bewegende Kraft muß an dem obersten Ende dieser Stange, folglich allemal höher als der Ausguß, angebracht werden. Man hat aber auch eine Art von Saug- und Hebpumpen mit ganz kurzen Kolbenstangen, welche nicht durch die Aufsatzröhren gehen, und wo die Kraft, wie bey Druckwerken zunächst am Stiefel, folglich weit niedriger als die Stelle des Ausgusses, angebracht werden kann, indem die Aufsatzröhren nicht eine ununterbrochene Röhrenstrecke mit dem Stiefel bilden, sondern von diesem abgesondert seitwärts, wie bey einem Druckwerk, sich befinden. Eine Pumpe von dieser Art, welche man in England Liftingpump oder Iackpump zu nennen pflegt, ist auf der fünften Tafel Fig. 9. abgebildet. Das Saugrohr ufgu, das Ventil, welches bey uu sizt, und der Kolben selbst hat vollkommen dieselbe Einrichtung, wie bey einer gewöhnlichen englischen Saug- und Hebpumpe. Der Stiefel abcd hingegen ist oben mit einem vorstehenden Rande (Flanch) versehen, und mit einer auf diesen

*) Herr Oberbergrath Bückling bedient sich dieser Klotze statt der eisernen Thüren mit vielem Vortheil bey den von ihm zu Burgörner auf der preußischen Hoheit, und auf der Saline zu Schönebeck erbauten Feuermaschinen.

fen Rand genau passenden eisernen Scheibe oder Platte a d verschlossen, durch deren Mitte die eiserne genau abgedrehte*) Kolbenstange k k vollkommen luft- und wasserdicht auf und nieder bewegt wird. Dicht unter dem obern Rande a d ist an dem Stiefel ein horizontales Rohr r angegossen, welches durch das gebogene Kniestück n m m n mit den Aufsatz- oder Steigröhren h h in Verbindung steht. Wenn nun der Kolben in dieser Pumpe aufwärts gezogen wird, so zieht er das Wasser unter sich durch die Saugröhre ein, und drückt zugleich das (nach einigen wiederholten Zügen) über ihm befindliche Wasser durch das Seitenrohr r in die Steigröhren h h, welche, nach Erforderniß der Umstände, eine saigere Höhe von 100 Fuß und darüber haben können.

§. 148.

Die Hauptsache, worauf es bey einer solchen Pumpe ankömmt, ist die Liederung der Kolbenstange, da wo sie durch den Deckel geht, oder eine zweckmässige Vorrichtung, wodurch die Beweglichkeit dieser Stange mit einer so vollkommnen Dichte verbunden wird, daß der beträchtliche Druck der im Steigrohr enthaltenen Wassersäule keinen Tropfen neben oder zwischen derselben auspressen kann. Zu diesem Ende ist auf der Mitte des Deckels m n (Fig. 2, Tab. VI.) eine Büchse a b c d angegossen, welche von oben zylindrisch, gegen unten zu aber konisch ausgebohrt wird, und aussen mit zween kurzen Zapfen g, g versehen ist, wie die Zeichnung im lothrechten Durchschnitte darstellt. Diese Büchse wird, wenn der Kolben schon im Stiefel steht, sammt der Platte m m von oben über die Kolbenstange k k gesteckt, und nun zuerst die Platte oder der Deckel (mit darzwischen gelegtem Flanell und Kütte) auf den Obertheil des Stiefels mittelst mehrerer Schraubenbolzen auf die gewöhnliche Art befestigt. Hierauf werden von altem gezupften Tau oder Schiefseil (welches die Engländer Oakum nennen) Fäden, wie die Dochte einer Kerze gedreht, und, nachdem solche in Oel wohl getränkt worden, in die Höhlung der Büchse spiralförmig um die Kolbenstange gewunden und dicht auf einander gedrückt, bis die Büchse beynahe ganz voll ist. Nunmehr wird ein andrer von

*) Man hat in England eigene Maschinen, durch welche dergleichen Stangen von jeder Dicke genau zylindrisch abgezogen oder gestreckt werden.

von Eisen gegossener, massiver, durch seine Achse nach der Weite der Kolbenstange ausgebohrter, von aussen nach der Weite der Büchse a d abgedrehter, Zylinder über die Stange k k geschoben, in die Büchse a b c d gesteckt, und mittelst zweyer Schraubenbolzen v y (welche mit ihrem untern ringförmigen Ende an die Zapfen g g, oben aber durch die beyden Flügellappen e e gesteckt werden) wie die Zeichnung weiset, allmählig eingedrückt. Auf diese Art wird das gezupfte Tau nicht nur so fest, als man will, zusammen, sondern auch von allen Seiten so dichte an die Kolbenstange angepreßt, daß auch bey dem stärksten Drucke, währendem Spiele der Pumpe sowohl als im Stande der Ruhe, kein Tropfen Wasser zwischen dieser Liederung und der Stange entwischen kann, wozu die gegen unten bis an den scharfen Rand trichterförmig erweiterte Höhlung desselben Zylinders sehr viel beyträgt. Diese ganze Vorrichtung heißt die Stopfbüchse (the Stuffingbox,) und entspricht ihrer Bestimmung weit vollkommener als die von Belidor für ähnliche Pumpen beschriebene Liederung mit ledernen ringförmigen Scheiben, vor welcher sie noch den besondern wichtigen Vorzug hat, daß durch allmähliges Nachdrücken des Stöpsers oder Zylinders e e die Liederung in dem Verhältnisse wieder dichter gemacht werden kann, als solche durch den Gebrauch abgenüzt und vermindert wird.

§. 149.

Da die Kolbenstange ihrer ganzen Länge nach durch die im Deckel m m, und im Stöpser e e befindlichen genau passenden Oefnungen, so oft man will, frey ein- und ausgeschoben werden muß, so kann an ihrem obern Ende natürlicherweise kein Ring, Hacken oder irgend ein Vorsprung angebracht werden; und man hat daher, um solche, nachdem der Kolben in dem Stiefel, und der Deckel auf den Rand desselben befestigt ist, mit den Zugstangen, Ketten oder übrigen gangbaren Zeuge auf eine feste und sichere Art in Verbindung zu setzen, folgende sehr einfache und bequeme Vorrichtung erdacht.

Die Stange bekömmt an ihrem Obertheile ein 4 bis 5 Zoll langes Oehr f f, Fig. 2, in welches die eiserne Platte s s genau passet. Nun wird ein gespaltenes Stück Eisen oder Kloben a b c, Fig. I, so bearbeitet, daß dessen beyde inwendig ausgehöhlte Schenkel b, c den Obertheil der Stange k genau umfassen, wie Fig. 9. auf der fünften Tafel anzeigt. Durch beyde Schenkel dieses Kloben wird dann

ein

ein länglichter Ausschnitt oder Oehr von gleicher Grösse mit jenem in der Stange ff gemacht, die Platte ss so durchgesteckt, daß die Stange in der Mitte fest gehalten wird, und hierauf die beyden Schenkel durch zwey kleine gespaltene Keile x, x, welche durch zwey in dem vorragenden Theile der Platte s befindliche Ausschnitte geschlagen werden, feste zusammen getrieben. Nunmehr bildet dieser Kloben mit der Kolbenstange ein zusammenhangendes Stück, und kann mittelst eines durch seinen Ring a gesteckten Bolzen rr an die Zugstangen, Stangenhacken oder Ketten gehängt werden.

§. 150.

Da die leztbeschriebene Pumpe mit den Vorzügen der gewöhnlichen Saug- und Hebwerke, die Bequemlichkeit der Druckwerke vereinigt, indem die bewegende Kraft gleich über dem Stiefel, wie bey diesen, angebracht werden kann, so ist ihre Anwendung in allen Fällen an die Stelle der leztern zu empfehlen, vor welchen sie noch übrigens folgende wesentliche Vortheile gewährt. 1) Wirkt die bewegende Kraft hiebey durch Ziehen, welches immer besser ist, und die Maschinentheile weniger angreift als drücken oder schieben. 2) Ist die Liederung, welche vollkommen, so wie bey den gewöhnlichen Saugpumpen über den Sturz eingerichtet ist, leichter, wohlfeiler und dauerhafter, als die Liederung der gewöhnlichen Druckkolben; auch ist die Bewegung der Kolben immer genau in der Richtung der Achse des Stiefels. 3) Macht die Auswechselung oder Ausbesserung der Ventile weniger Schwierigkeiten, da hier im Steigrohr keines befindlich ist.

Vor den gewöhnlichen hohen Sätzen hat diese Art von Pumpen auch zwey sehr wichtige Vorzüge; erstens arbeiten hier die Zugstangen ausser den Aufsatzröhren im Trocknen, dauern daher länger, und können, wenn sie schadhaft geworden, leichter und bequemer reparirt oder ausgewechselt werden. Zweytens können hiebey engere Aufsatzröhren gebraucht werden, welches bey weiten Sätzen, und wo man keine andern als hölzerne Röhren haben kann, ein wichtiger Vortheil ist. Besonders aber würden diese Pumpen, meiner Meinung nach, in flachen Kunstschächten (wo die gewöhnlichen hohen Sätze wegen des Aufliegens und Reibens der Zugstangen in den Aufsatzröhren gar nicht anwendbar sind) die besten Dienste thun,

weil hier das Gestänge nicht in, sondern neben den Aufsatzröhren, auf untergelegten beweglichen Rollen, mit sehr wenig Reibung spielen kann.

Durch die scheinbaren Schwierigkeiten der Stopfbüchse (Stuffingbox) darf man sich übrigens von dem Gebrauch dieser Pumpe keineswegs abschrecken lassen, da die Erfahrung beweiset, daß die Reibung der in derselben spielenden Kolbenstange, wenn diese recht rund, und an allen Stellen gleich abgedreht ist, sehr unbeträchtlich, und auch die Liederung vollkommen dichte erhalten wird, wenn man nur den Stöpser von Zeit zu Zeit etwas nachschraubet, und öfters ein wenig Oel durch seine obere Oefnung neben der Stange eingießt.

Vierzehntes Kapitel.

Beschreibung einer an die Stelle eines hohen Kunstsatzes mit Vortheil anwendbaren Saug- und Druckpumpe.

§. 151.

Diese Pumpe ist auf der sechsten Tafel Fig. 3. im lothrechten Durchschnitte, Fig. 4. von oben im horizontalen Durchschnitte nach der Linie zz, und Fig. 5. von der Seite des Saugrohrs (welches hier weggenommen ist) im Aufrisse dargestellt.

Der Stiefel oder das Kolbenrohr abcd ist unten offen, und hat oben bey ad eine konisch ausgebohrte Erweiterung, in welche ein von aussen abgedrehter zweyklappigter Ventilstock v von der im vorigen Kapitel beschriebenen Einrichtung gesezt wird. Dicht unter dem Sitze dieses Ventiles ist an dem Stiefel seitwärts ein kurzes länglich viereckтes mit einem vorstehenden Rande opop versehenes Rohr angegossen, an welchen Rand der gleich grosse Rand des gebogenen Saugrohrs wwxx mit Schraubenbolzen so befestigt wird, wie der Durchschnitt Fig. 3. anzeigt. In dem obern erweiterten Theile dieses Saugrohrs steckt bey ww in einem konischen Sitze ein anders gleich grosses Ventil, welches von oben herausgehoben werden kann, wenn man die runde Platte oder Scheibe ii, welche die obere Mündung des Saugrohrs verschließt, weggenommen hat. Diese Scheibe paßt auf einen vorstehenden Rand, welcher Fig. 4. mit einer punktirten Linie angezeigt ist, und wird auf denselben mit einem darzwischen gelegten Ringe von Filz oder Flanell und Kütte festgeschraubt.*)

§. 152.

*) Der obere erweiterte Theil der Saugröhrs iwwi ist hier Fig. 3. aus Versehen etwas zu hoch gezeichnet worden. Der Rand, auf welchem die Platte ii liegt, sollte nämlich mit der obern Wand des Seitenrohres wo in derselben Höhe gleich fortlaufen, weil sich sonst in dem obern Raume unter der Platte etwas Luft sperren würde, welche der Wirkung der Pumpe nachtheilig wäre.

§. 152.

Unmittelbar auf das Kolbenrohr kömmt der kurze etwas weitere Zylinder efgg, und auf diesen die Steig- oder Aufsatzröhren hh zu stehen, welche an einem Satze 50 bis 100 Fuß hoch aus einzelnen 6 bis 9 Fuß langen Stücken mit Lappen auf die gewöhnliche Art zusammengeschraubt werden können. Der Zylinder efgg hat, wie das oben §. 135. beschriebene Bucketdoor-piece der gewöhnlichen englischen Saugpumpe, eine Thüre gd, durch welche das Ventil v heraus und hinein gebracht werden kann, und welche mit einer eisernen Platte, oder, nach §. 146, mit einem hölzernen Klotze qq verschlossen wird. Dieser Klotz wird, so wie dort, mittelst zweyer eisernen Schienen mm, nn durch von aussen um den Zylinder gelegte Reife rr und Schrauben ss in den Schlund gg mit untergelegtem Stopptuch so fest hinein gedrückt, daß kein Tropfen Wasser neben demselben entwischen kann.

§. 153.

Der Kolben kk ist, wie bey den gewöhnlichen Druckwerken, solide, mit auf einander geschraubten ledernen Scheiben, besser mit einer doppelten Kappe oder Sturz, geliedert, und an einer kurzen eisernen Stange δδ befestigt, welche durch einen Stangenhacken rr mit dem Schachtgestänge γγ Fig. 5. auf die gewöhnliche Art in Verbindung gesezt wird.

Wenn nun das Gestänge durch seine eigene Schwere niedergeht, so zieht solches den Kolben, von seiner höchsten Stelle an der Seitenöfnung oo, in dem Stiefel abwärts; das Wasser folgt ihm (nach einigen wiederholten Zügen) aus dem Saugrohr durch das Ventil ww nach, und füllt den ganzen Stiefel zwischen dem Kolben und Ventile v aus. Wird das Gestänge dann durch die bewegende Kraft wieder in die Höhe gezogen, so schiebt es den Kolben von unten wieder aufwärts, das Ventil ww schließt sich, und das im Stiefel enthaltene Wasser wird durch die Klappen v und den Zylinder efgg gerade in die Steigröhren hh gedrückt.

§. 154.

Man sieht, daß die Wirkungsart dieser Pumpe sich von jener der gewöhnlichen Saug- und Hebepumpen wesentlich unterscheidet: denn bey diesen äussert der Kolben seine ganze Wirkung im Hube, wenn er von der bewegenden Kraft aufwärts

gezogen

gezogen wird, durch Ansaugen der unter ihm, und Heben der über ihm befindlichen Wassersäule; und die hydrostatische Last ist hierbey der Summe von beyden, nämlich dem Gewichte einer Wassersäule von der ganzen saigern Höhe des Satzes vom Sumpfe bis zum Ausguß gleich. Bey der so eben beschriebenen Pumpe hingegen wird diese Last zwischen Hub und Rückzug des Kolbens so getheilt, daß beym Steigen desselben nur die über ihm befindliche Wassersäule, von der mittlern Kolbenhöhe bis zum Ausguß, beym Rückzuge aber nur die Höhe vom mittlern Kolbenstand bis zum Wasserspiegel im Sumpfe in Anschlag kömmt.

Da indessen das Schachtgestänge, seiner beträchtlichen Länge wegen, nicht niederwärts gedrückt, sondern nur aufwärts gezogen werden kann, so muß der Rückzug des Kolbens oder das Ansaugen des Wassers ganz allein von dem Gewichte der Schacht- und Kolbenstangen bewirkt werden, welche demnach schwer genug seyn müssen, den gesammten hiebey vorfallenden Widerstand und Reibungen mit der gehörigen Geschwindigkeit zu überwinden; und da der hiezu nöthige Theil des Gewichtes beym Steigen des Kolbens unbalanzirt wieder gehoben werden muß, so ist die beym Hube erforderliche Kraft doch vollkommen dieselbe, als ob beyde Wassersäulen zugleich, wie bey einer gewöhnlichen Saug- und Hebpumpe von gleicher saigerer Höhe, gehoben würden.

§. 155.

Man braucht aber zu diesem Ende kein besonders Gewicht an die Schachtstangen zu hängen, da diese mit dem zugehörigen Beschläge, Stangenhacken, Kolben und Kolbenstangen ohnehin schwer genug sind; und man thut daher am besten, wenn man das ganze Gewicht derselben nach der erforderlichen Stärke vorher bestimmt, und hiernach erst die Länge der Saugröhren berechnet.

Es sey z. B. das ganze Gewicht eines sogenannten Trumms mit allem Zubehör = Q in Kubickfussen Wasser ausgedrückt; die Anzahl der daran gehängten Sätze = n; die Kolbenfläche = W; die saigere (ganze) Länge eines jeden Saugrohrs = l; die Höhe einer Wassersäule, welche dem vereinten mechanischen und hydraulischen Widerstande gleich ist (§. 79.) = z, so muß

$$Q = W.n\,(l + z),$$

also $$l = \frac{Q}{W.n} - z$$

seyn.

seyn. Es ist aber sicherer in der Ausübung 1 noch um 3 bis 4 Fuß kleiner zu nehmen, als diese Formel giebt (welche eigentlich nur den grösstthunlichen Werth dieser Grösse anzeigt), weil man mit auf die Reibung der Kolben, und den nicht genau zu berechnenden Widerstand, welchen die doppelte Beugung des Saugrohrs dem eindringenden Wasser entgegen sezt, Rücksicht nehmen muß, auch überhaupt aus bereits angeführten Gründen kurze Saugröhren den längern vorzuziehen sind.

§. 156.

Die Vorzüge der hier beschriebenen Pumpe vor den gewöhnlichen hohen Kunstsätzen sind folgende:

1. Die Liederung der Kolben und Auswechselung der Ventile kann hier, so leicht wie bey den gewöhnlichen niedern Sätzen, auf einer und derselben Liederbühne vorgenommen werden.

2. Das Schachtgestänge geht, wie bey diesen, ausserhalb den Aufsatzröhren im Trocknen, und kann, in flachen Schächten, auf bewegliche Rollen gelegt werden.

3. Zu den Aufsätzen können engere Röhren, bey einer Höhe von 8 bis 10 Lachtern auch wohl hölzerne, gebraucht werden.

4. Da hier die sämmtliche Wasserlast mehrerer übereinander gestellten Sätze zwischen den Hub und Schub der Kolben vertheilt wird, so leiden die Schachtstangen keinen so gewaltigen Druck, wie bey den gewöhnlichen Kunstsätzen, wo die Summe aller Wassersäulen zugleich auf einmal gehoben werden muß. Diese Stangen dürfen daher auch nicht so stark und schwer gemacht werden.

5. Wenn man das Steigrohr eben so hoch wie das Saugrohr macht, so daß der Stiefel in der Mitte zwischen beyden zu stehen kömmt, so hat die bewegende Kraft beym Hube und Rückzuge des Kolbens gleichen Widerstand zu überwinden. Diese Einrichtung gewährt den Vortheil, daß die Last mit einer einzigen Pumpe von dieser Art so gleichförmig wie mit zweyen gewöhnlichen, und mit zweyen so gleichförmig wie mit vier gewöhnlichen nebeneinander gestellten Kunstsätzen vertheilt, mithin die Gleichförmigkeit der Bewegung mit einer einfachern Struktur der Maschine erhalten werden kann.

6. Bey einer schnellen Bewegung wird der Widerstand des durch den Kolben einer gewöhnlichen Pumpe bey seinem Rückzuge gedrängten Wassers immer sehr beträchtlich, weil man die in demselben befindliche Ventilöfnung, der erforderlichen Stärke wegen, nicht zu groß machen darf. Bey dieser Pumpe hingegen fällt dieser Widerstand ganz weg, da der Kolben solide ist, und beyde Ventile so weit, als man will, gemacht werden können.

Die hier beschriebene Pumpe verbindet demnach die wesentlichsten Vortheile und praktischen Bequemlichkeiten der gewöhnlichen Saugpumpen mit jenen der hohen Sätze und der gewöhnlichen Druckwerke, und ihre Anwendung ist daher allgemein sowohl in Gruben als über Tage zu empfehlen. — Ich habe einen ganz eisernen Kunstsatz von dieser Art vor mehreren Jahren auf einem Salzwerke zu Prestonpans in Schottland an einer Windkunst mit sehr gutem Erfolge vorgerichtet.

Funfzehntes Kapitel.

Vorschlag zur Verbesserung der gewöhnlichen hohen Kunstsätze. — Kostenberechnung der zu einer Pumpe erforderlichen Gußwaare.

§. 157.

Die größte Unbequemlichkeit der gewöhnlichen hohen Kunstsätze besteht bekanntlich darinn, daß bey jedesmaligem Liedern das Saugrohr unten herausgenommen werden muß, weil man den Kolben nur durch die untere Mündung des Stiefels heraus und hinein bringen, und auch zum Thürel nicht anders gelangen kann, da sich, wegen des starken Druckes, der Pflock im Unterstöckel nicht wie bey einem Saugwerke anbringen läßt. Dieser Umstand ist auch wohl hauptsächlich daran Schuld, daß die hohen Sätze, ihrer sonstigen auffallenden Vorzüge ungeachtet, seit einiger Zeit in Deutschland beynahe allgemein abgeschaft, und allenthalben lauter niedere Sätze eingeführt worden sind, bey welchen das Liedern mit weniger Zeitverlust und Beschwerlichkeit verbunden ist.

Man könnte aber auch sehr wohl einem gewöhnlichen hohen Kunstsatze mit hölzernen Saug- und Aufsatzröhren eine solche Einrichtung geben, daß dieses Geschäft eben so schnell und bequem wie bey den in Deutschland üblichen niedern oder den oben beschriebenen englischen hohen Kunstsätzen verrichtet würde. Man lasse zu diesem Ende nur nach der 40sten Fig. III. Tafel das Kolbenrohr ABCD unten mit einem vorstehenden Rande BC versehen, und setze dasselbe auf ein besonders von Eisen gegossenes zylindrisches Stück BfgC, in dessen unterm Theile fg ein nach englischer Art eingerichtetes Klappenventil, und an dessen Seite eine mit einer eisernen Platte oder einem hölzernen Pflock verschlossene Thüre E angebracht ist. Oben ist dieses Stück mit einem vorstehenden Rande (Flanch) versehen, welcher genau an den Rand des Kolbenrohrs BC passet, und an diesen auf die gewöhnliche Art festgeschraubt wird, und unten endigt sich dasselbe in eine kurze Röhre, welche in das hölzerne Saugrohr 11 eingestossen wird. Der obere Theil des Kolbenrohrs steckt auf die gewöhnliche

Art

Art in einem hölzernen Stöckel ADdc, auf welchem unmittelbar die hölzernen Aufsatzröhren bcde befestigt werden. Der Kolben kk Fig. 43, welcher ganz von Gußeisen auch nach englischer Art eingerichtet ist, wird mit der Kolbenstange ss mittelst eines starken Bolzens oder einer Schliesse verbunden, und kann, so bald die Stange von oben etwas nieder gelassen, und dieser Bolzen oder Schliesse heraus gezogen worden, durch die Thüre E (so wie gleichfalls das in fg sitzende Ventil) heraus genommen und wieder hinein gehängt werden. Auf diese Art kömmt man durch dieselbe Thüre sehr leicht zum Kolben und zum Ventile, und braucht nur eine Liederbühne für den ganzen Satz.

§. 158.

Da bey einer solchen Pumpe alles, bis auf das Kolbenrohr und das Stück BfgEc, von Holz ist, lezteres aber, so wie das Kolbenrohr selbst, auf jeder Eisenhütte, wo man Oefen und andre Lehmgußwaare verfertigt, gegossen werden kann, so mag die Anlage derselben nicht viel höher als die eines gewöhnlichen hohen Satzes zu stehen kommen, vor welchem sie aber die wichtigsten Vorzüge hat; ihre Anwendung ist daher, wenigstens in saigern Schächten und über Tage, in jeder Rücksicht zu empfehlen. Doch ist hierbey zu bemerken, daß es, wegen des nicht füglich zu vermindernden unnützen Raumes zwischen dem niedrigsten Kolbenstande und dem Ventile rathsam sey, dem Saugrohr keine grössere Länge als 14 bis 16 Fuß zu geben, und dagegen lieber die Aufsatzröhren desto höher zu machen.

Uebrigens ist die ganze Höhe jeines einzelnen Satzes von 8 bis 24 Lachter so ziemlich willkührlich, und keineswegs nothwendig, daß bey mehreren übereinander gehängten Sätzen jeder derselben gleiche Höhe bekomme, wenn nur die Last an beyden Trümmern gleich vertheilt wird. Vielmehr hat man in Schächten, welche in verschiedenen Teufen unter dem Stollen beträchtliche Zuflüsse auf besondern Strecken erhalten, vorzüglich darauf zu sehen, daß die Kasten oder Sümpfe, in welche ein Satz dem andern zuhebt, so vertheilt werden, daß jeder dieser besondern Zuflüsse gleich in derselben Höhe aufgefangen, und mit dem übrigen aus der Teufe gehobenen Grubenwasser von der nächsten (um so viel weitern) Pumpe weggeschaft werde, damit diese Wasser aus keiner grössern Teufe gehoben werden dürfen als sie zufliessen, und die Last nicht unnütz vergrössert werde.

§. 159.

Da es hier nicht meine Absicht ist, mehrere neue Erfindungen oder Vorschläge zur Verbesserung der Wasserkünste anzuführen, weil ich eine sehr reichhaltige Sammlung derselben für ein anders, nächstens zu erscheinendes, durchaus praktisches Werk bestimmt habe, so begnüge ich mich gegenwärtig damit, das allgemeine Vorurtheil der deutschen Kunstmeister gegen die hohen Sätze widerlegt, und ihnen überhaupt gezeigt zu haben, daß alle bisher gegen solche vorgebrachten Einwürfe eigentlich nur ihre alte unvollkommene Einrichtung treffen, und daß, mit einer leicht anzubringenden Veränderung, jeder gewöhnliche hohe Kunstsatz so verbessert werden könne, daß alle oben erwähnten Vortheile, welche dieser Art von Pumpen eigen sind, mit der Bequemlichkeit der niedern Sätze vereinigt werden.

Ich füge nun zum Beschluße nur noch eine kurze Anleitung bey, wie bey der Anlage einer Wasserkunst das Gewicht, und sohin der Werth, der nöthigen vorzüglichsten Gußwaaren zu berechnen ist.

§. 160.

Jedes Kolben- Saug- oder Aufsatzrohr ist ein hohler Zylinder, dessen körperlicher Inhalt auf folgende Art bestimmt wird.

Es sey die innere Weite desselben . . . . . = D;

Die (allenthalben gleiche) Dicke der Wand . . . . . = a;

Die Länge des Rohrs . . . . . = L;

Die Breite der (zirkelrunden) Lappen (Flanches) . . . . = b;

Die Dicke derselben . . . . . = c;

so ist Erstens der Flächeninhalt des Ringes, welchen ein auf die Achse des Rohrs senkrechter Durchschnitt bildet,

$$= 0{,}785\ (D + 2\,a)^2 - 0{,}785 \cdot D^2$$
$$= 0{,}785\ (D^2 + 4\,a\,D + 4\,a^2) - 0{,}785 \cdot D^2$$
$$= 0{,}785\ (4\,a\,D + 4\,a^2)$$
$$= 3{,}14 \cdot a\,(D + a).$$

Diese

Diese Ringfläche mit der Länge L multiplizirt giebt nun den körperlichen Inhalt der ganzen Röhre, wenn diese keine Lappen hat,

$$M = 3{,}14 \cdot a\,L\,(D + a).$$

Eben so ist der Flächeninhalt einer jeden Lappe

$$= 3{,}14 \cdot b\,(D + b),$$

mithin der körperliche Inhalt derselben

$$= 3{,}14 \cdot bc\,(D + b).$$

Der Kubickinhalt eines mit zweyen Lappen von gleicher Breite und Stärke versehenen Rohrstückes ist demnach

$$M = 3{,}14\,[a\,L\,(D + a) + 2\,bc\,(D + b)]$$

in Kubickzollen, wenn alle Grössen in Zollen gegeben sind. — Wiegt demnach ein Kubickfuß des Metalls, von welchem das Stück gegossen werden soll, β Pfunde, so ist das ganze Gewicht desselben, in Pfunden,

$$P = 3{,}14 \cdot \frac{\beta}{1728}\left[a\,L\,(D + a) + 2\,bc\,(D + b)\right]$$

$$= 0{,}001817 \cdot \beta\,[a\,L\,(D + a) + 2\,bc\,(D + b)].$$

In England z. B. wiegt der Kubickfuß von gutem grauen Gußeisen, nach dortigem Maaß und Gewicht, 450 ℔; also ist daselbst allgemein

$$P = 0{,}81765\,[a\,L\,(D + a) + 2\,bc\,(D + b)].$$

Hierbey ist der gewöhnliche Preiß auf allen Eisenhütten für ausgebohrte Röhren oder Zylinder von jeder Grösse der Zentner (zu 112 ℔) dreyssig Schillings oder $1\frac{1}{2}$ Pfund Sterling; ungebohrte Röhren oder Zylinder 14 bis 16 Schillings auf der Stelle.

Tafel

aus der gegebenen Quadratfläche A einer Röhre ihren Durchmesser D zu finden.

A:	D.	A:	D.	A:	D.	A:	D.	A:	D.
1.	1,128.	21.	5,171.	41.	7,225.	61.	8,813.	81.	10,155.
2.	1,595.	22.	5,292.	42.	7,313.	62.	8,885.	82.	10,218.
3.	1,954.	23.	5,411.	43.	7,393.	63.	8,956.	83.	10,280.
4.	2,256.	24.	5,528.	44.	7,485.	64.	9,027.	84.	10,342.
5.	2,523.	25.	5,642.	45.	7,563.	65.	9,097.	85.	10,403.
6.	2,764.	26.	5,739.	46.	7,653.	66.	9,161.	86.	10,464.
7.	2,985.	27.	5,863.	47.	7,736.	67.	9,181.	87.	10,525.
8.	3,191.	28.	5,971.	48.	7,818.	68.	9,305.	88.	10,585.
9.	3,385.	29.	6,071.	49.	7,898.	69.	9,373.	89.	10,645.
10.	3,567.	30.	6,180.	50.	7,979.	70.	9,441.	90.	10,705.
11.	3,742.	31.	6,282.	51.	8,058.	71.	9,508.	91.	10,764.
12.	3,909.	32.	6,380.	52.	8,137.	72.	9,575.	92.	10,806.
13.	4,068.	33.	6,482.	53.	8,215.	73.	9,641.	93.	10,882.
14.	4,222.	34.	6,572.	54.	8,292.	74.	9,707.	94.	10,940.
15.	4,381.	35.	6,676.	55.	8,368.	75.	9,772.	95.	10,998.
16.	4,513.	36.	6,770.	56.	8,444.	76.	9,832.	96.	11,056.
17.	4,652.	37.	6,864.	57.	8,513.	77.	9,901.	97.	11,113.
18.	4,788.	38.	6,956.	58.	8,593.	78.	9,966.	98.	11,170.
19.	4,918.	39.	7,047.	59.	8,661.	79.	10,029.	99.	11,223.
20.	5,042.	40	7,136.	60.	8,797.	80.	10,093.	100.	11,284.

Tafel

aus dem gegebenen Durchmesser einer Röhre D ihren Querschnitt A zu finden.

D:	A.	D:	A.	D:	A.
1.	0,78539.	13.	132,73209.	25.	490,87343.
2.	3,14159.	14.	153,93785.	26.	530,93871.
3.	7,06857.	15.	176,71432.	27.	572,55487.
4.	12,56635.	16.	201,06163.	28.	615,75169.
5.	19,63492.	17.	226,97973.	29.	660,51984.
6.	28,27429.	18.	254,46862.	30.	706,85775.
7.	38,48455.	19.	283,52831.	31.	754,76697.
8.	50,26540.	20.	314,15926.	32.	805,24704.
9.	63,61715.	21.	346,36058.	33.	855,29795.
10.	78,53975.	22.	380,13270.	34.	907,91951.
11.	95,03303.	23.	415,47527.	35.	962,11193.
12.	113,09716.	24.	462,38896.	36.	1017,87516.

Nöthige Verbesserungen.

Seite 4, Zeile 4, statt v^1 lies: v^2.

S. 9, Z. 5. (von unten) statt A^1 lies: A^2.

S. 11, Z. 1, statt $\frac{v}{4g}$ ließ: $\frac{v^2}{4g}$.

S. 12, Z. 5. (von unten) statt M lies: W.

S. 16, lezte Zeile, statt c lies: C.

S. 24, Z. 7, statt $\frac{\alpha^2}{\varphi^2}$ (am Ende der Zeile) lies: $\frac{\alpha^2}{\omega^2}$.

Ebendaselbst, Zeile 3, (von unten) statt $-\frac{\alpha^3\varphi}{W^3}$ lies: $-\frac{\alpha^2\varphi}{W^3}$.

S. 31, Z. 11, statt $\frac{Q^2}{1{,}532.a^2}$ lies: $\frac{Q^2}{1{,}532.a^2.g}$.

Ebendaselbst, Z. 13, statt $\frac{Q^2}{2{,}637.a^2}$ lies: $\frac{Q^2}{2{,}637.a^2.g}$.

Ebendas. Z. 14, statt: alles nach Parisermaaße, lies: allgemein nach jedem Maaße.

S. 32, Z. 13, statt $0{,}707.a^5$ lies: $0{,}707.a$.

S. 34, Z. 1, statt (§. 18. Fig. 9.) lies: (§. 19. Fig. 10.)

Ebend. Z. 3 und 4, statt $\frac{\mu^2}{4g}$ lies: $\frac{m^2}{4g}$.

S. 35, Z. 1, der kleinen Tafel, statt $\frac{A}{a}$ lies: $\frac{a}{A}$.

S. 38, Z. 3, (von unten) st. allgemeine Gleichung. Für ꝛc. lies: allgemeine Gleichung für ꝛc.

S. 48, Z. 4, statt $y = 1 + \frac{c^2}{4g}$ lies: $y = 1 + \frac{C^2}{4g}$.

Ebend. Z. 16, statt bm lies: Am.

S. 53, Z. 6. (von unten) statt fl lies: bc.

S. 54, Z. 4, (von unten) statt C. $\frac{\varphi}{W}$ lies: C. $\frac{W}{\varphi}$!

S. 64, lezte Zeile, statt H lies: h.

S. 67, Z. 4, (von unten) statt be lies: bc.

S. 81, Z. 2, statt (h + x) lies: r (h + x).

S. 93, Z. 2, st. verkehrtem Verhältniß l. verkehrtem quadratischen Verhältniß.

S. 103, Z. 6, (von unten) statt $\frac{bB}{v^2}$ lies: $\frac{bB}{2v}$.

S. 104, Z. 4, statt $+ E^{\frac{bB}{2v}} = -1 + E^{\frac{bB}{2v}}$, lies: $+ E^{\frac{bB}{v}} = -1 + E^{\frac{bB}{v}}$.

S. 127, Z. 2, statt $P = P$, lies: $P' = P$.

S. 130, Z. 14, statt $v . \frac{W}{w}$ lies: $v . \frac{w}{W}$.

S. 148, Z. 4, statt $\frac{1{,}39\left(\theta + h + 1.\frac{W}{\omega}\right) - 2}{b}$ lies: $\frac{1{,}39\left(\theta + h + 1.\frac{W}{\omega}\right)}{b} - 2$.

S. 157, Z. 8, (von unten) statt $\lambda . \frac{W}{\omega} +$, lies: $\lambda . \frac{W}{\omega} + \theta$.

S. 165, Z. 2, (von unten) statt $+ \beta + h$, lies: $1 + \beta + h$.

S. 191, Z. 4, (von unten) statt: Schiefseil, lies: Schiffseil.

Sulzbach,
gedruckt in der Commerzienrath Seidlischen Offizin.

I. Tafel.

Fig 2

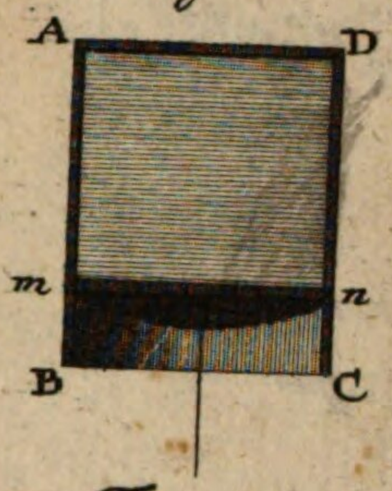


Fig. 7.

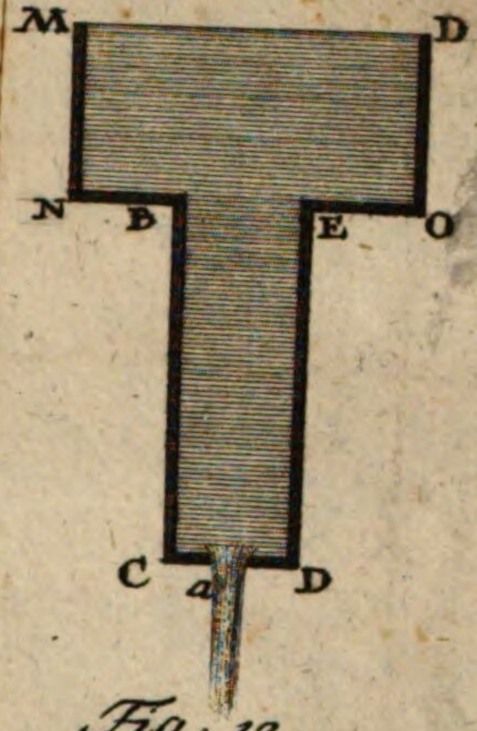


Fig. 12.

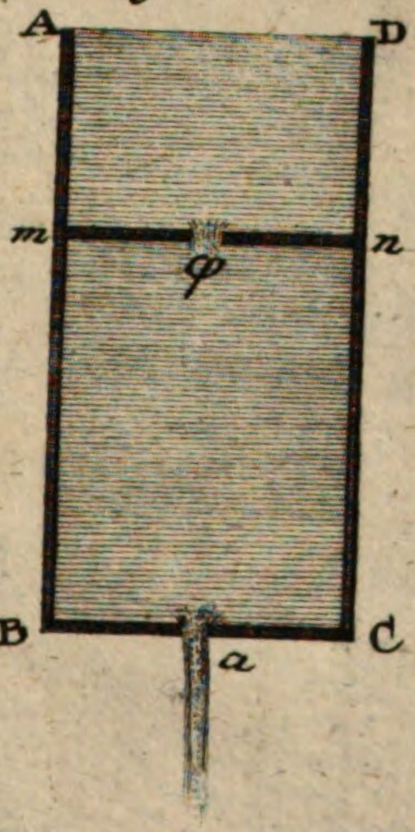
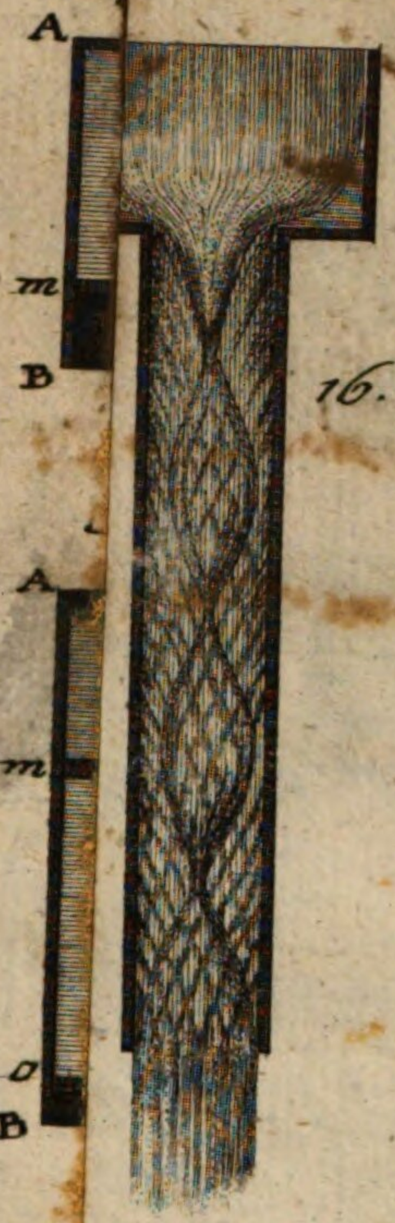


Fig.



16.

Fig.

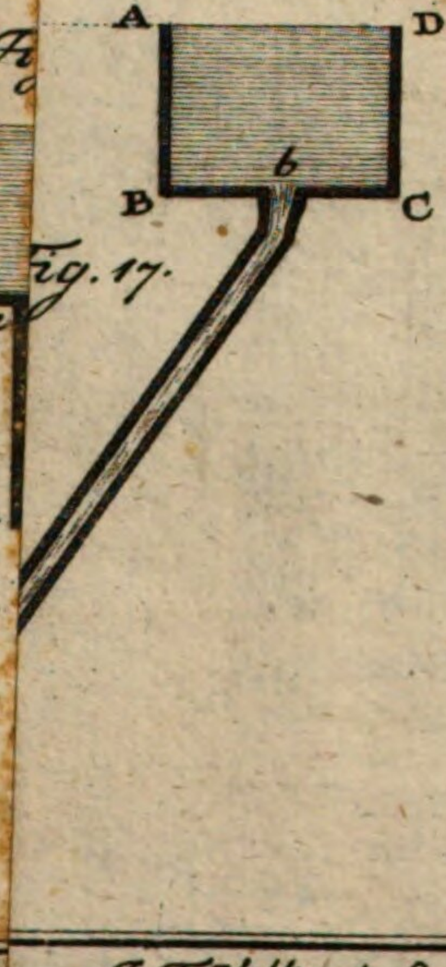


Fig. 17.

J. F. Volkart sc.

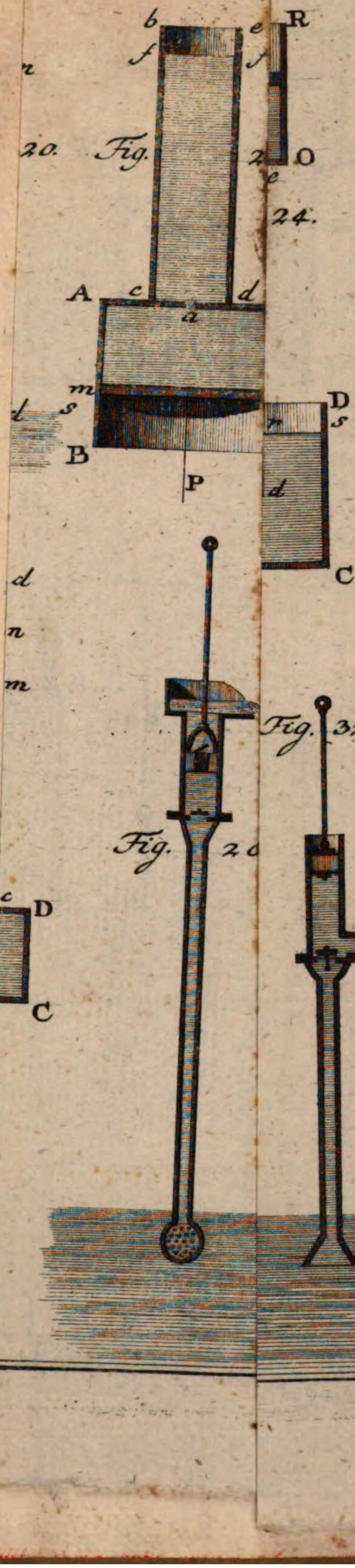


Fig. 25.

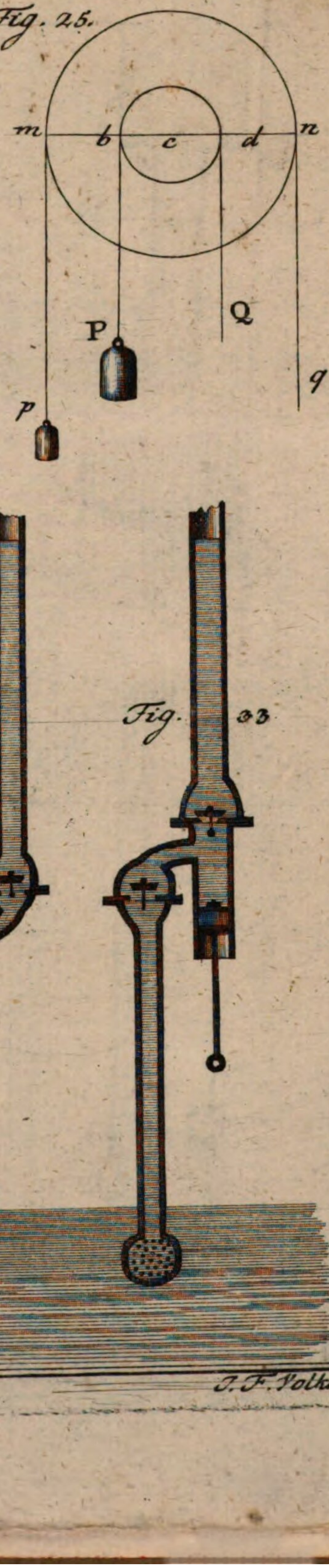


Fig. 32.

Fig. 33

J. F. Volkart Sc

III. Tafel.

Fig. 39.

Fig. 43.

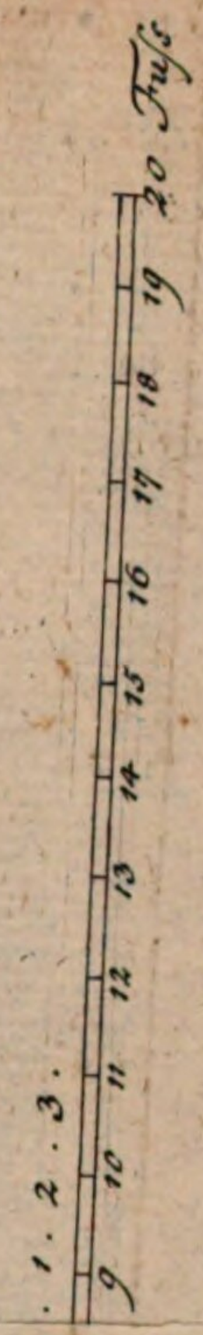
Fig. 40.

J. F. Volkart. sc.

Englischer K

IV. Tafel.

Fig. 3.



V. Tafel.

Fig. 3.

Fig. 4.

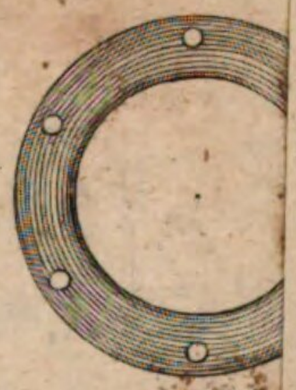
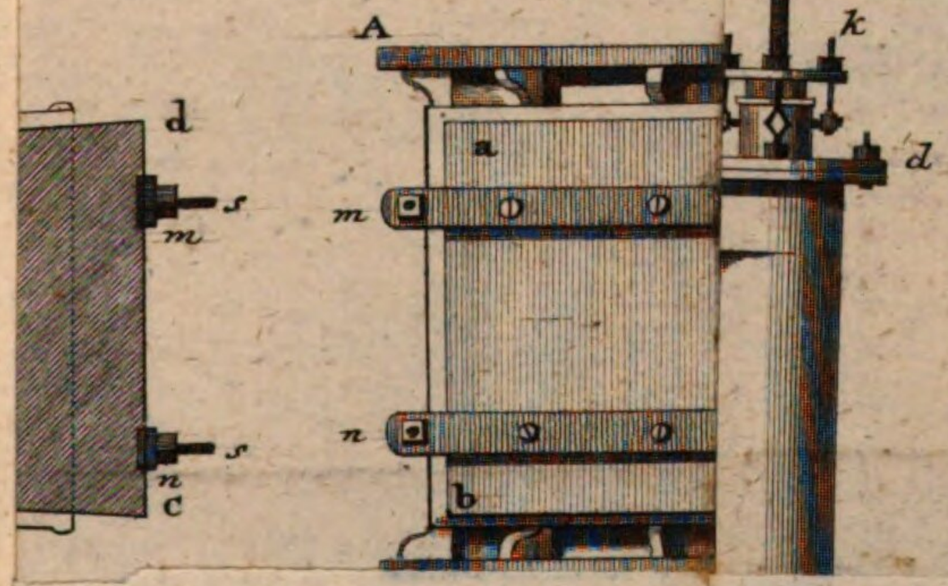
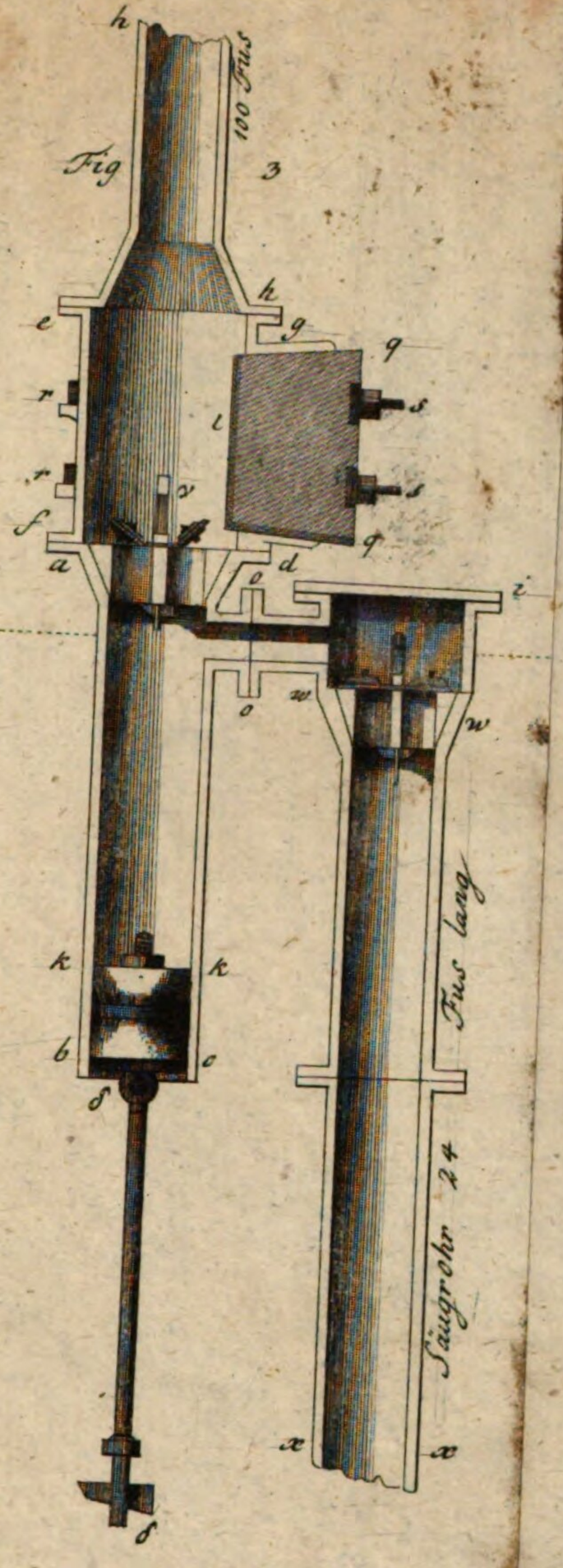


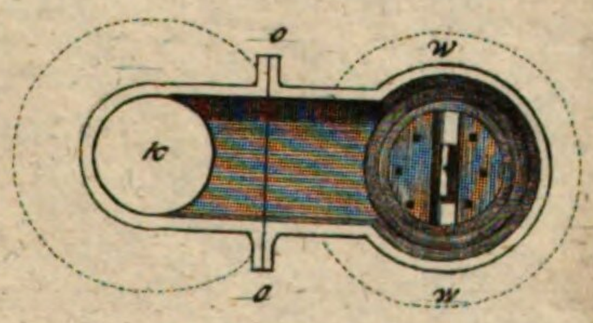
Fig. 6.



el.

Fig 3





ig. 4.

Nov.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Baader, Joseph von, / Törring, Josef August <<von>>, / Volckart, Johann Friedrich,

Vollständige Theorie der Saug- und Hebepumpen, und Grundsätze zu ihrer vortheilhaftesten Anordnung, vorzüglich in Rücksicht auf Bergbau und Salinenwesen nebst einer Beschreibung der in den englischen Bergwerken gebräuchlichen hohen Kunstsätze, und einigen Vorschlägen zur Verbesserung

Bayreuth 1797

BHS III 95
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10708378-7
VD18 14389592